

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Željko Vitko

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: dr. sc. Krešimir Grilec

Željko Vitko

Zagreb, 2012.

IZJAVA

Ovaj završni rad izradio sam samostalno, koristeći se računalom i navedenom literaturom.

Zahvaljujem se profesoru dr. sc. Krešimiru Grilecu na pomoći te korisnim savjetima i naputcima.

Ovom prilikom zahvaljujem se i svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i bili mi velika potpora tokom istog.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **ŽELJKO VITKO**

Mat. br.: 0035160528

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **TROŠENJE VATROGASNIH MLAZNICA**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **WEAR OF FIRE NOZZLES**

Opis zadatka:

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama. Kao i kod drugih konstrukcijskih dijelova tako i kod vatrogasnih mlaznica dolazi do njihovog trošenja tijekom eksploatacije. Mlaznice su vatrogasne armature koje služe za formiranje i usmjeravanje mlaza vode prema požaru ili nekom drugom objektu. Za izbor materijala mlaznica proizvođačima su uz cijenu primarni zahtjevi tehnološkičnost te otpornost na udarce i koroziju. Pri tome se zanemaruje njihova otpornost na trošenje do kojeg dolazi uslijed prolaska vode kroz mlaznicu. Taj proces trošenja naziva se erozija kapljevnom. Prema smjeru gibanja kapljevne razlikujemo eroziju udarom kapljica gdje je dominantan mehanizam trošenja umor površine i eroziju kapljevnom pri strujanju gdje je dominantan mehanizam trošenja tribokorozija.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Opisati vatrogasne mlaznice za vodu
- 2) Navesti i opisati materijale vatrogasnih mlaznica
- 3) Opisati proces trošenja erozijom kapljevnom
- 4) Navesti materijale i opisati postupke zaštite od erozije kapljevnom
- 5) Pronaći primjere trošenja mlaznica te ih analizirati
- 6) Provesti prateća ispitivanja
- 7) Analizirati rezultate i dati zaključak.

Zadatak zadan:

8. ožujka 2012.

Rok predaje rada:

10. svibnja 2012.

Predviđeni datum obrane:

16., 17. i 18. svibnja 2012.

Zadatak zadao:

K. Grilec

Prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Predsjednik Povjerenstva:

F. Cajner

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA	VII
1. Uvod	1
2. Vatrogasne mlaznice za vodu.....	2
2.1. Namjena mlaznica za vodu.....	2
2.2. Oblici vodenog mlaza.....	2
2.2.1. Puni mlaz.....	2
2.2.2. Raspršeni mlaz	2
2.2.3. Vodena magla.....	3
2.2.4. Zaštitni mlaz.....	3
2.3. Podjela mlaznica za vodu	3
2.3.1. Obične mlaznice	3
2.3.2. Mlaznice sa zatvaračem	4
2.3.3. Univerzalne mlaznice	6
2.3.4. Specijalne mlaznice.....	8
2.4. Protok vode na usnacu mlaznice	15
2.5. Reakcija vodenog mlaza.....	15
2.5.1. Ublaživač sile reakcije vodenog mlaza	15
3. Vatrogasne spojnice	17
3.1. Cijevne spojnice	17
3.2. Stabilne spojnice	22
3.3. Slijepe spojnice	24
3.4. Prijelazne spojnice.....	25
4. Materijali i način izrade vatrogasnih mlaznica i spojnica	27
4.1. Aluminijske legure	27
4.1.1. Lijeane aluminijske legure	28
4.1.2. Gnječene aluminijske legure	29
4.2. Bakrene legure.....	31
4.2.1. Legure bakra s cinkom	31
4.2.2. Legure bakra bez cinka.....	32
4.3. Čelik	34

4.4. Primjeri mlaznica koje su nastale kombinacijom različitih materijala	36
4.4.1. Univerzalna mlaznica HS 7, poduzeća AWG	36
4.4.2. Turbo mlaznica 2130HD PN40	37
5. Proces erozije kapljevnom	40
5.1. Erozija kapljevnom.....	40
5.2. Eksperimentalno određivanje otpornosti na eroziju kapljevnom	45
6. Materijali i postupci zaštite od erozije kapljevnom	47
6.1. Materijali i postupci za zaštitu od erozije udarom kapljica	47
6.1.1. Legure na osnovi željeza	48
6.1.2. Legure na osnovi nikla i kobalta	49
6.1.3. Legure na osnovi aluminijske i bakra	50
6.2. Materijali i postupci za zaštitu od erozije tekućinom	51
6.2.1. Samotekuć legure	51
6.2.2. Metalni karbidi	53
6.2.3. Metalni oksidi.....	54
6.3. Principi postupaka naštrcavanja	57
6.3.1. Plameno naštrcavanje	57
6.3.2. Plazmatsko naštrcavanje	58
6.3.3. Visokobrzinsko plameno naštrcavanje.....	59
7. Analiza trošenja mlaznica	60
7.1. Analiza mlaznice od bakrene legure.....	60
7.2. Analiza mlaznice od aluminijske legure.....	62
7.3. Analiza mlaznice od polikarbonata	64
8. Analiza odabranih uzoraka.....	66
8.1. Karakterizacija materijala.....	66
8.1.1. Ispitivanje materijala gorenjem.....	66
8.1.2. Ispitivanje tališta materijala	69
8.1.3. Karakterizacija materijala probom otapanjem	73
8.2. Pregled uzoraka na SEM-u (skenirajućem elektronskom mikroskopu)	74
8.2.1. Pregled aluminijske mlaznice na SEM-u	76
8.2.2. Pregled bakrene mlaznice na SEM-u	86
8.2.3. Pregled polikarbonatne mlaznice na SEM-u	91
9. Zaključak	98
10. Literatura	99

POPIS SLIKA

Slika 1. Obična mlaznica	4
Slika 2. Mlaznica sa slavinom	5
Slika 3. Mlaznica sa slavinom i univerzalnom glavom.....	6
Slika 4. Univerzalna mlaznica.....	7
Slika 5. Univerzalna Turbo Mag mlaznica.....	7
Slika 6. Pištolj mlaznice	8
Slika 7. Mlaznica za raspršenu vodu	9
Slika 8. Monsun mlaznica	10
Slika 9. Dubinska mlaznica	11
Slika 10. Vodeni štit	12
Slika 11. Čistač kanal	12
Slika 12. Fleksibilna mlaznica	13
Slika 13. Ublaživač vodenog mlaza	16
Slika 14. Tlačna cijevna spojnica	18
Slika 15. Usisna cijevna spojnica	19
Slika 16. Poprečni presjek brtvi tlačnih spojnica	21
Slika 17. Poprečni presjek brtvi usisnih spojnica	21
Slika 18. Stabilna spojnica	22
Slika 19. Slijepa spojnica	24
Slika 20. Prijelazna Al spojnica	26
Slika 21. Univerzalna mlaznica HS 7.....	36
Slika 22. Presjek univerzalne mlaznice HS 7	37
Slika 23. Turbo mlaznica 2130HD PN40.....	38
Slika 24. Presjek Turbo mlaznice 2130HD PN40	38
Slika 25. Shema procesa erozije kapljevinom	40
Slika 26. Jedinični događaj umora površine.....	41
Slika 27. Raspodjela smičnih naprezanja za slučaj dodira ravnina / valjak i normalnog opterećenja	42
Slika 28. Jedinični događaj tribokorozije	43
Slika 29. Procesi trošenja pri eroziji kapljevinom.....	44
Slika 30. Relativna otpornost nekih materijala na eroziju kapljevinom	45
Slika 31. Shema ispitivanja erozije kapljevinom	46

Slika 32. Podjela najvažnijih postupaka naštrecavanja prema vrsti nositelja energije	57
Slika 33. Shema plamenog naštrecavanja prahom	57
Slika 34. Shema plazmatskog naštrecavanja.....	58
Slika 35. Shema postupka visokobrzinskog plamenog naštrecavanja praha	59
Slika 36. Kombinirana bakrena mlaznica.....	60
Slika 37. Prikaz trošenja erozijom na promatranoj mlaznici od bakrene legure.....	61
Slika 38. Prikaz erozije udara kapljicama na promatranoj mlaznici od bakrene legure	61
Slika 39. Promatrana aluminijska mlaznica sa zatvaračem.....	62
Slika 40. Prikaz erozije kapljevnom na usnacu aluminijske mlaznice.....	63
Slika 41. Prikaz erozije kapljevnom na nastavku aluminijske mlaznice.....	63
Slika 42. Promatrana kombinirana mlaznica od polikarbonata.....	64
Slika 43. Prikaz trošenja erozijom kapljevne na promatranoj mlaznici od poliamida.....	65
Slika 44. Prikaz erozije kapljevnom na mlaznici od poliamida	65
Slika 45. Strugorine ispitivanog materijala	67
Slika 46. Strugotine materijala spremne za zagrijavanje	67
Slika 47. Zagrijavanje materijala otvorenim plamenom	68
Slika 48. Ostaci ojačala nakon izgaranja.....	69
Slika 49. Polarizacijski mikroskop sa grijačima i termometrom	70
Slika 50. Ispitni uzorak.....	70
Slika 51. Zagrijavanje ispitnog uzorka.....	71
Slika 52. Polarizacijski mikroskop Olympus BX51	71
Slika 53. Uzorak nakon spaljivanja uz povećanje od 100x	72
Slika 54. Uzorak nakon taljenja uz povećanje od 100x	72
Slika 55. SEM uređaj	74
Slika 56. Događaji na površini uzorka	75
Slika 57. Prikaz aluminijskog uzorka sa Slike 42. skeniranog na SEM-u	76
Slika 58. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku.....	77
Slika 59. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 58.....	77
Slika 60. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku.....	79
Slika 61. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 60.....	79
Slika 62. Prikaz aluminijskog uzorka sa Slike 41. skeniranog na SEM-u	81
Slika 63. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku.....	82
Slika 64. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 63.....	82
Slika 65. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku.....	84

Slika 66. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 65.....	84
Slika 67. Prikaz bakrenog uzorka sa Slike 38. Skeniranog na SEM-u.....	86
Slika 68. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na bakrenom uzorku.....	87
Slika 69. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 68.....	87
Slika 70. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na bakrenom uzorku.....	89
Slika 71. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 70.....	89
Slika 72. Proces naparivanja	91
Slika 73. Uzorak od polikarbonata nakon naparivanja	92
Slika 74. Prikaz polikarbonatnog uzorka sa Slike 73. skeniranog na SEM-u	92
Slika 75. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na polikarbonatnom uzorku...	93
Slika 76. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 75.....	93
Slika 77. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na polikarbonatnom uzorku...	95
Slika 78. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 77.....	95
Slika 79. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na polikarbonatnom uzorku...	96
Slika 80. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 79.....	97

POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristike monsun mlaznice	10
Tablica 2. Veličina vatrogasnih spojnice	17
Tablica 3. Vrste tlačnih spojnice	19
Tablica 4. Vrste usisnih spojnice.....	20
Tablica 5. Vrste stabilnih spojnice	23
Tablica 6. Vrste slijepih spojnice	25
Tablica 7. Vrste prelaznica.....	26
Tablica 8. Osnovna svojstva lijevanih aluminijskih legura	28
Tabela 9. Podjela gnječanih aluminijskih legura	29
Tablica 10. Aluminijske legure koje se koriste u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica..	30
Tablica 11. Bakrene legure koje se koriste u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica	33
Tablica 12. Granični maseni udjeli elemenata koji odjeljuju nelegirane od legiranih čelika .	34
Tablica 13. Čelik koji se koristi u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica	35
Tablica 14. Vrste materijala koji se koriste u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica i vatrogasnih armatura	39
Tablica 15. Ispitivanje erozije kapljevnom	46
Tablica 16. Uobičajeni raspon sastava ekonomski najznačajnijih NiCrBSi legura	52
Tablica 17. Glavna područja primjene oksidno-keramičkih slojeva.....	55
Tablica 18. Svojstva i ponašanje polikarbonata kod zagrijavanja	68
Tablica 19. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 58.....	78
Tablica 20. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 58.....	80
Tablica 21. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 58.....	83
Tabela 22. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 65.	85
Tablica 23. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 68.....	88
Tablica 24. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 70.....	90
Tabela 25. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 75.	94
Tablica 26. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 77.....	96
Tablica 27. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 79.....	97

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
D	m	Promjer
F	N	Sila
H	m	Visina
L	m	Dužina
m	kg	Težina
p	bar	Tlak
Q	l/min	Protok
T	°C	Temperatura
t	s	Vrijeme
U	V	Napon
v	m/s	Brzina
α	°	Kut
τ	N/mm ²	Smično naprezanje
Φ	m	Promjer

1. Uvod

Naslov rada je nekim ljudima u najmanju ruku čudan i pitaju se kako se do njega došlo. Baveći se u slobodno vrijeme vatrogastvom želio sam u ovom radu spojiti ugodno s korisnim i istražiti što se događa sa vatrogasnim mlaznicama. Nas strojare trebalo bi zanimati od čega je nešto i na koji način izrađeno te što se sve događa sa proizvodom u samoj eksploataciji. Svrha, estetičnost i funkcionalnost imaju velike zahtjeve u konstrukciji i izradi svih dijelova u gospodarstvu pa tako i u izradi vatrogasnih mlaznica. Mlaznice u vatrogastvu su armature koje služe za formiranje i usmjeravanje mlaza vode prema požaru ili nekom drugom objektu. Kod izbora materijala mlaznica, proizvođačima su primarni zahtjevi cijena, tehnologičnost, funkcionalnost te otpornost na koroziju i udarce. U ovom radu dana je osnovna podjela vatrogasnih mlaznica i spojnica te opisane njihove karakteristike. Osim toga navedeni su materijali i opisan je način izrade vatrogasnih mlaznica te su navedeni postupci i materijali za zaštitu od erozije kapljevinom. Nadalje, opisan je postupak erozije kapljevinom i povezan je sa trošenjem kod vatrogasnih mlaznica. U suradnji sa profesorom Zlatkom Posavcem iz Vatrogasne škole u Zagrebu nabavljene su korištene tri vrste mlaznica. Svaka mlaznica je izrađena od različitog materijala, i to od aluminijske i bakrene legure te od polikarbonata. Mlaznice su detaljno analizirane i pronađeni su tragovi trošenja na njima. Tragovi trošenja na mlaznicama su ispitivani i analizirani te se došlo do mnogo vrijednih podataka koji se mogu povezati sa erozijom kapljevinom, mehanizmom trošenja koji je u ovom slučaju dominantan. Na kraju je izvršeno skeniranje površine na skenirajućem mikroskopu (SEM) i dobivene su slike istrošenih uzoraka i kemijski sastav elemenata koji se nalaze na površini. Uglavnom, u ovom radu je dan i razrađen široki spektar materijala i načina zaštite mlaznica od trošenja. Prikazani su i primjeri suvremenih i najmodernijih mlaznica koje se u današnje vrijeme izrađuju kombinacijom različitih materijala s ciljem što bolje efikasnosti gašenja, te otpornosti na udarce, korozije i trošenja.

2. Vatrogasne mlaznice za vodu

2.1. Namjena mlaznica za vodu

Mlaznice su vatrogasne armature koje služe za formiranje i usmjeravanje mlaza vode prema požaru ili nekom drugom objektu. [1]

2.2. Oblici vodenog mlaza

Mlaznice mogu dati tri oblika vodenog mlaza:

- puni mlaz
- raspršeni mlaz
- vodenu maglu.

Jedan od pod oblika mlaza vode je:

- zaštitni mlaz.

Oblik mlaza ovisi o tlaku vode pred mlaznicom, brzini mlaza te veličini i konstruktivnoj izvedbi usnaca mlaznice. [1]

2.2.1. Puni mlaz

Glavne prednosti punog mlaza su: njegov veliki domet i velika sila djelovanja vode na prepreke. Kao glavni nedostaci se navode mala iskoristivost vode pri gašenju (mali efekat gašenja) uz veliku potrošnju vode. [1]

2.2.2. Raspršeni mlaz

Raspršeni mlaz ima manji domet od punog mlaza, ali zato ima znatno veću iskoristivost vode pri gašenju tj. puno je veći efekat gašenja nego kod punog mlaza. Sila djelovanja mlaza vode na prepreke je manja u odnosu na puni mlaz. [1]

2.2.3. Vodena magla

Vodenu maglu karakterizira mali domet mlaza, visoku iskoristivost vode pri gašenju te zanemarivo djelovanje mlaza na prepreke koje je presudno za gašenje u slučajevima gdje se ne smije uskovitlati prašina ili druge čestice zbog nastanka eksplozivnih smjesa. [1]

2.2.4. Zaštitni mlaz

Za zaštitni mlaz je već spomenuto da je on pod oblik mlaza i kao takav ne služi za gašenje požara, nego štiti vatrogasca od isijane topline i toplinskog zračenja. [1]

2.3. Podjela mlaznica za vodu

Mlaznice za vodu mogu se podijeliti u četiri grupe:

1. obične mlaznice
2. mlaznice sa zatvaračem
3. univerzalne mlaznice
4. specijalne mlaznice.

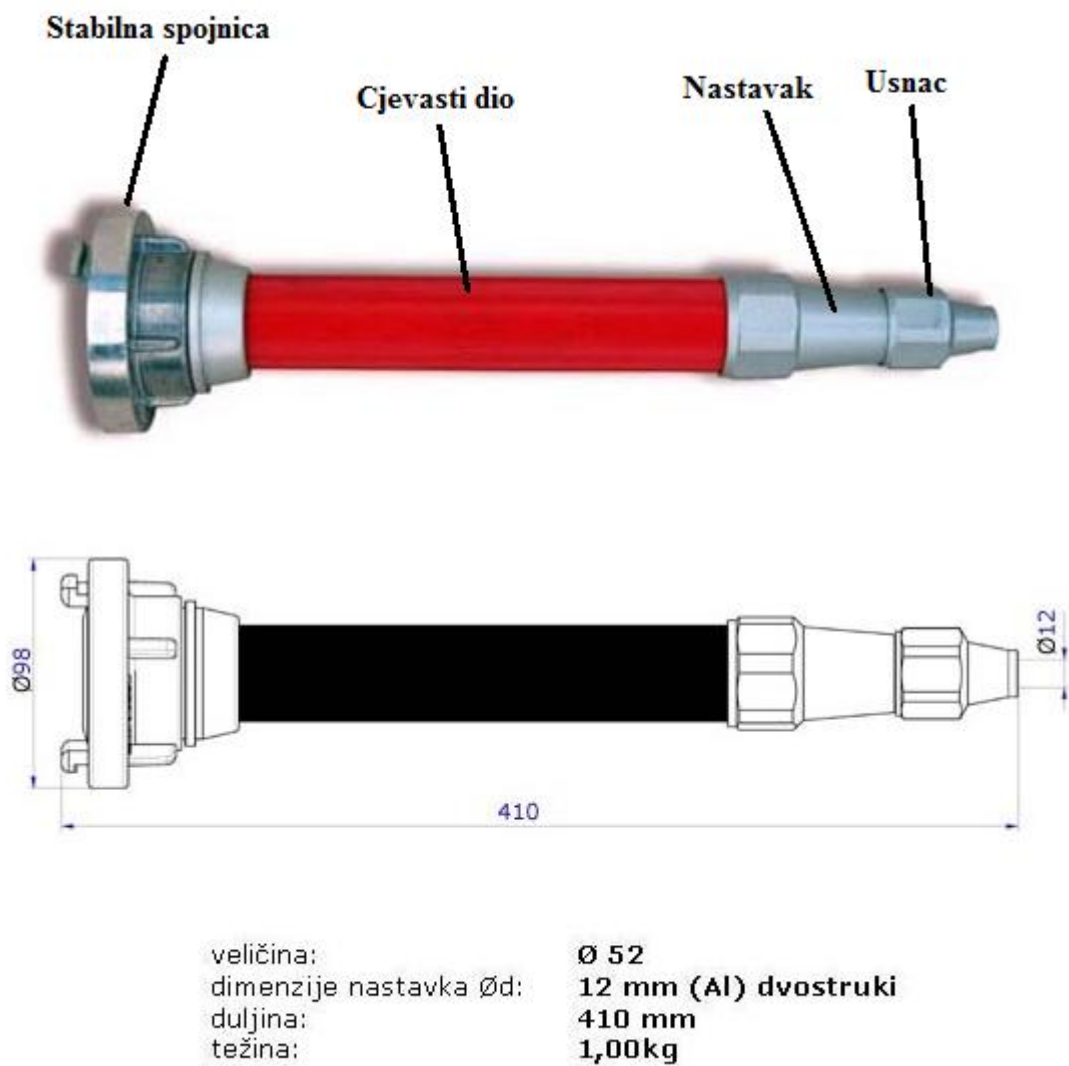
Razlikuju se po konstruktivnoj izvedbi, obliku i izlaznoj brzini mlaza te namjeni. [1]

2.3.1. Obične mlaznice

Obične mlaznice su konstrukcijski najjednostavnije. Njima se ne može regulirati protok vode niti zatvarati voda te je njihovom upotrebom moguće koristiti samo puni mlaz. Označavaju se imenom i oznakom promjera priključne spojnice (B- $\Phi 75$, C- $\Phi 52$ ili D- $\Phi 25$ mm). [2]

Osnovni dijelovi obične mlaznice su [2]:

- cjevasti dio
- nastavak
- usnac
- stabilna spojnica



Slika 1. Obična mlaznica [4]

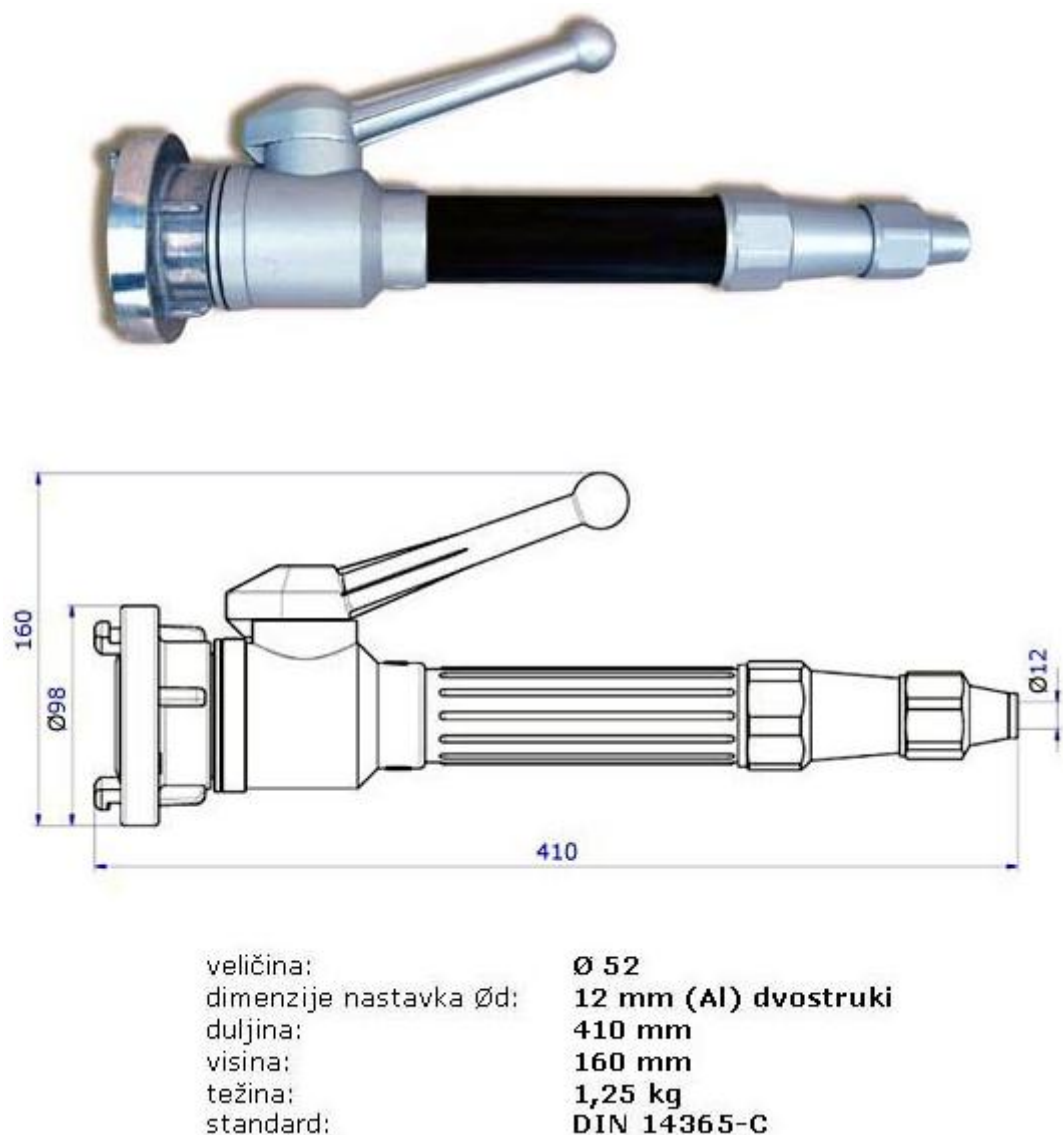
2.3.2. Mlaznice sa zatvaračem

Mlaznice sa zatvaračem se od običnih mlaznica razlikuju po mogućnosti prekidanja mlaza vode zato što imaju ugrađenu slavinu kao element za regulaciju protoka. [2]

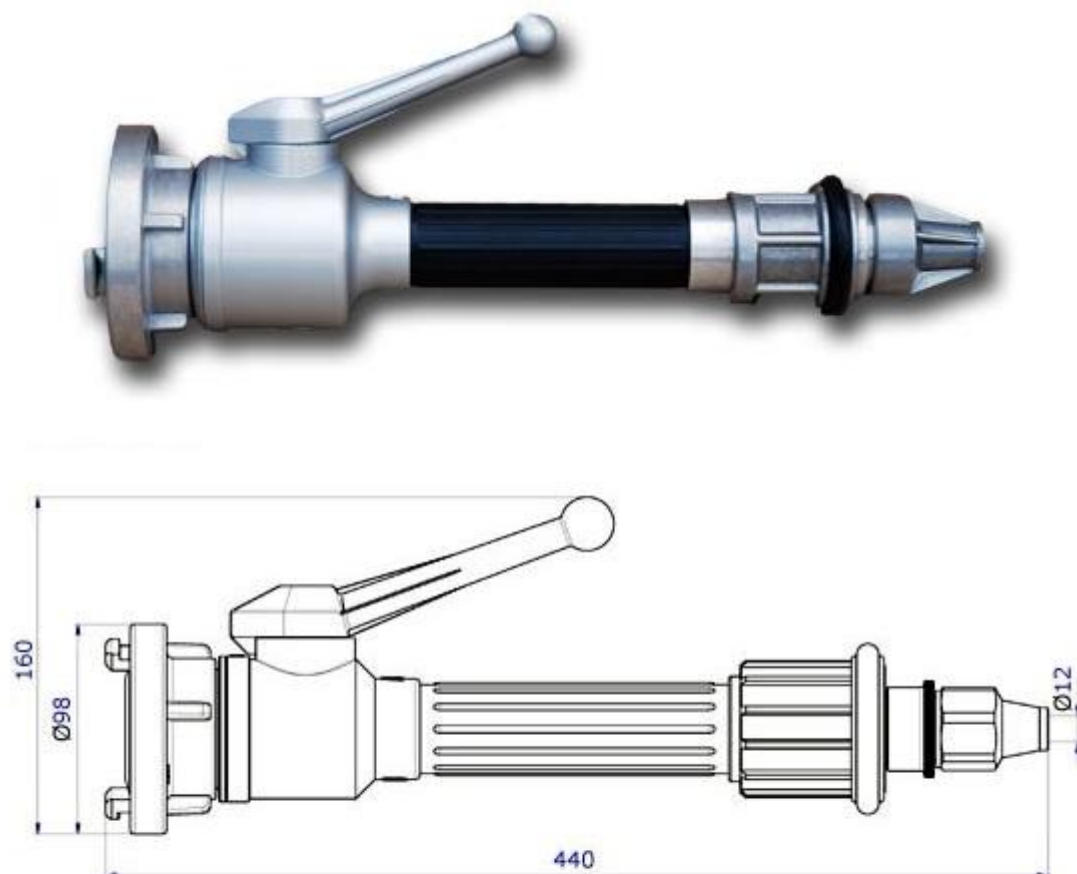
Vrste mlaznica sa zatvaračem su [2]:

- mlaznica sa slavinom
- mlaznica sa slavinom i raspršivačem
- mlaznica sa slavinom i univerzalnom glavom

Mlaznica sa slavinom ima mogućnost prekida mlaza vode i može dati samo puni mlaz. Mlaznica sa slavinom i raspršivačem također ima mogućnost prekid mlaza vode, a može zbog različite konstrukcije dati osim punog i raspršeni mlaz. Daljnjom konstrukcijskom nadogradnjom dobiva se mlaznica sa slavinom i univerzalnom glavom koja ima putem slavine mogućnost prekid mlaza vode, a okretanjem univerzalne glave se može dobiti puni i raspršeni mlaz te njihovu kombinacija sa zaštitnim mlazom.



Slika 2. Mlaznica sa slavinom [4]



veličina:	Ø 52
dimenzije nastavka Ød:	sa zaštitnim mlazom
duljina:	440 mm
visina:	160 mm
težina:	1,58 kg
standard:	DIN 14365-C

Slika 3. Mlaznica sa slavinom i univerzalnom glavom [4]

2.3.3. Univerzalne mlaznice

Univerzalne mlaznice imaju mogućnost prekidanja mlaza vode, mogu dati puni i raspršeni mlaz, te zaštitni mlaz s njima u kombinaciji. Dvodijelna glava omogućava istovremeno dobivanje punog i raspršenog mlaza tj. kombiniranog mlaza, a mlaznica može raditi i sa svakim mlazom posebno. [1]

Javile su se prije mlaznica sa slavinom i univerzalnom glavom i konstrukcijski su kompliciranije.

Nova generacija univerzalnih mlaznica koje nisu još normirane poznate su pod nazivom patent mlaznice, turbo mlaznice (Turbo Mag, Turbo-univerzal) i sl., ali one najčešće ne mogu dati kombinaciju mlazova. [2]



Slika 4. Univerzalna mlaznica [2]



Slika 5. Univerzalna Turbo Mag mlaznica [2]

2.3.4. Specijalne mlaznice

Specijalne mlaznice imaju glavu za posebne namjene. Neke stvaraju vodenu maglu, a neke služe za takozvano sondiranje odnosno gašenje tinjajućeg ili dubinskog požara, požara sitnog ugljena, piljevine, žita u silosima, stočne hrane, slame i sličnih požara. [2]

Grupa specijalnih mlaznica po vrstama je najveća i tu spadaju [2]:

1. pištolj mlaznice
2. mlaznice za raspršenu vodu
3. monsun-mlaznice
4. dubinske mlaznice
5. vodeni štit
6. čistač kanala
7. fleksibilne mlaznice
8. bacači (monitor mlaznice).

Pištolj mlaznice

Pištolj mlaznice su visokotlačne mlaznice koje se koriste na vitlima za brzu navalu. Njihova glavna i osnovna karakteristika je da rade pri visokom tlaku (30 - 60 bara) i uz mali protok vode (50 - 200 l/min). Svojom konstrukcijskom izvedbom daju puni mlaz vode i vodenu maglu te se mogu koristiti za gašenje pjenom. Raspršeni mlaz koji se dobiva ovom mlaznicom troši relativno malo vode, a postiže se maksimalan efekat gašenja. [2]



Slika 6. Pištolj mlaznice [2]

Mlaznice za raspršenu vodu

Mlaznica za raspršenu vodu koristi se za gašenje požara zapaljivih tekućina kao što su ulje, lak i slično. One daju relativno veliki domet mlaza i značajnu količinu raspršene vode. Mlaznica sa 'C' spojnicom $\Phi=52$ mm kod tlaka $p=6$ bar daju protok $Q=300$ do 380 l/min i domet mlaza od $L=12$ m). Jak utjecaj hlađenja i intenzivno isparivanje omogućavaju efikasno i brzo gašenje. [2]

Osnovni dijelovi mlaznice za raspršenu vodu su, [2]:

- glava ("tuš")
- cijev (zakrivljena za 60° ili nezakrivljena)
- ručka za držanje
- slavina
- stabilna spojnica



Slika 7. Mlaznica za raspršenu vodu [2]

Monsun mlaznica

Monsun mlaznica ima raspršivače specijalne konstrukcije i na taj način gasi vodenom maglom i ima najveći efekat gašenja.

Razvijena je kao mlaznica za gašenje uređaja pod naponom zato što je važna udaljenost mlaznice od uređaja i opreme pod naponom. Raspršivač ove mlaznice ima dizne koje su tako raspoređene da se pri izlasku vode stvara vodeni mlaz koji ima izuzetno veliku površinu pokrivanja. Povećanjem površine pokrivanja, povećava se i brzina pokrivanja, čime se stvara maksimalni ugušujući efekat. Zaštitna konusna obloga štiti dizne od udarca i stvara vrtložno – turbulentno strujanje vode, čime se povećava njena prodornost gašenja. Izrađuju se u kraćoj i dužoj izvedbi, s ravnom ili zakrivljenom cijevi pod kutom od 45° . [1]

Tablica 1. Karakteristike monsun mlaznice [1]

p [bar]	Q [l/min]	Domet mlaza [m]
3	250	7
5	350	9
8	450	12

Glava „monsun“ mlaznice je konstruirana tako što se u krugu raspoređuju osam mlaznica, dok je deveta postavljena u sredini kruga. Odvrtanjem centralne dizne može se dobiti pun mlaz.

„Monsun“ mlaznicom se mogu gasiti električni uređaji pod naponom, ali sa određenog odstojanja.

Predviđene minimalne udaljenosti odstojanja su, [2]:

- za napon od 30 000 V – 2m
- za napon od 110 000 V – 3m
- za napon od 220 000 V – 4m
- za napon od 380 000 V – 5m



Slika 8. Monsun mlaznica [2]

Dubinske mlaznice

Dubinske mlaznice se koriste za gašenje tinjajućeg ili dubinskog požara, požara sitnog ugljena, piljevine, žita u silosima, stočne hrane, slame i sličnih požara.

Gašenje požara se vrši tako da se cjevasti dio mlaznice dužine 1,5 m zabije u unutrašnjost tvari, a voda izlazi na rupice izbušene po plaštu cjevastog dijela i gasi požar ili sprječava samozapaljenje. Na donjem kraju ima otvore koji omogućavaju da voda izlazi u krug za 360°. [1]



Slika 9. Dubinska mlaznica [2]

Vodeni štit

Vodeni štit je namijenjen stvaranju vodenih zavjesa radi zaštite čovjeka i objekata od zračenja topline (sprečavanje širenja požara na susjedne objekte), aerosola i otrovnih plinova. [1]



Slika 10. Vodeni štit [2]

Čistač kanala

Čistač kanala je namijenjen čišćenju podzemnih kanala. [1]



Slika 11. Čistač kanal [2]

Fleksibilne mlaznice

Fleksibilne mlaznice se koriste učvršćene na vrhu automobilske izvlačne okretne ljestve kod gašenje velikih požara na visokim objektima. Njome se upravlja užetom sa zemlje tako da se povlačenjem užeta mlaznica povlači vertikalno, a popuštanjem se vraća u prvobitni položaj dok je okretanje u lijevu i desnu moguće okretanjem cjelokupnih ljestvi.

Ove mlaznice imaju promjenjive usnace promjera od 40 do 60 mm.

Ukoliko je učvršćena na košari automobilske izvlačne okretne ljestve, onda se njome upravlja ručno. [2]



Slika 12. Fleksibilna mlaznica [2]

Bacač vode

Osnovne značajke bacača vode su [2]:

- nazivni kapacitet Q_{naz} (protok vode ili otopine): od 1000 do 80000 l/min
- nazivni radni tlak p_{naz} : 8 bara
- domet mlaza (pri nagibu od 32°): do 240 m
- horizontalno kretanje: 330°
- vertikalno kretanje: od -15° do 70°

Bacač vode se označava sa veliki početnim slovima sredstva koji se kroz njega izbacuje i količinom izbačenog sredstva koje može biti voda ili teška pjena. [2]

Tako se bacač vode označava na sljedeći način:

BV 10 (16, 20, 24, 30, 40)

gdje je BV oznaka za bacač vode, a broj x 100 l/min je nazivni protok vode Q_{naz} koji se izbacuje pri nazivnom tlaku p_{naz} .

Bacač teške pjene se označava na sljedeći način:

BTP 10

gdje je BTP oznaka za bacač teške pjene, a broj x 100 l/min je nazivni protok teške pjene Q_{naz} koji se izbacuje pri nazivnom tlaku p_{naz} .

2.4. Protok vode na usnacu mlaznice

Protok vode na usnacu mlaznice (kapacitet mlaznice) možemo izračunati prema jednadžbi [1]:

$$Q = 0,66d^2 \sqrt{p}$$

gdje je: Q (l/min)- protok
 d (mm) - promjer usnaca
 p (bar) - tlak

2.5. Reakcija vodenog mlaza

Reakcija vodenog mlaza je sila koja se javlja na mlaznici uslijed djelovanja tlaka vode. [2]

$$F = 0,16 \cdot d^2 \cdot p$$

gdje je: F (N) - sila reakcije vodenog mlaza
 d (mm) - promjer usnaca
 p (bar) – tlak

2.5.1. Ublaživač sile reakcije vodenog mlaza

Ublaživač reakcije vodenog mlaza se definira kao vatrogasna armatura u kojoj se sila reakcije vodenog mlaza dijeli na dvije komponente i umanjuje veličinu dijela sile reakcije koju mlazničar tj. čovjek koji rukuje mlaznicom treba savladati pri korištenju mlazom. Mlazničar u prosjek može rukovati mlaznicom sa silom reakcije $F \leq 120 \text{ N}$. [1]

U slučajevima kad se radi s B-cijevima i mlaznicama s usnacima $d \geq 18 \text{ mm}$, mlaznicu treba držati više ljudi (uz odgovarajuću sigurnost četiri vatrogasca).

Primjenom ublaživača reakcije vodenog mlaza stabiliziraju se momenti na mlaznici, umanjuje sila reakcije koju mlazničar treba savladati i povećava sigurnost pri radu.

Ublaživači reakcije vodenog mlaza mogu biti veličine B ili C.

Osnovni dijelovi ublaživača reakcije vodenog mlaza su [2]:

- kućište (koljeno),
- ulazni otvor,
- izlazni otvor,
- stabilne spojnice i
- držalo (ručka).



Slika 13. Ublaživač vodenog mlaza [2]

3. Vatrogasne spojnice

Vatrogasne spojnice spadaju u vatrogasne armature.

Vatrogasne spojnice služe za spajanje vatrogasnih cijevi međusobno, s ostalim vatrogasnim armaturama, centrifugalnim pumpama i drugom vatrogasnom opremom. [2]

Vrste vatrogasnih spojnica [2]:

- cijevne spojnice (tlačne i usisne),
- stabilne spojnice,
- slijepe spojnice i
- prijelazne spojnice (prijelaznice).

Veličina vatrogasne spojnice iskazuje se oznakom promjera prema sljedećoj tablici.

Tablica 2. Veličina vatrogasnih spojnica [2]

Oznaka promjera cijevi	Promjer cijevi (mm)
A	110
B	75
C	52
D	25

Vatrogasne spojnice izrađuju se iz aluminijskih legura lijevanjem ili kovanjem, a mogu se izrađivati i iz bronca.

3.1. Cijevne spojnice

Vatrogasne cijevi vežu se na cijevne spojnice. One mogu biti tlačne ili usisne spojnice.

Osnovni dijelovi cijevnih spojnica su [2]:

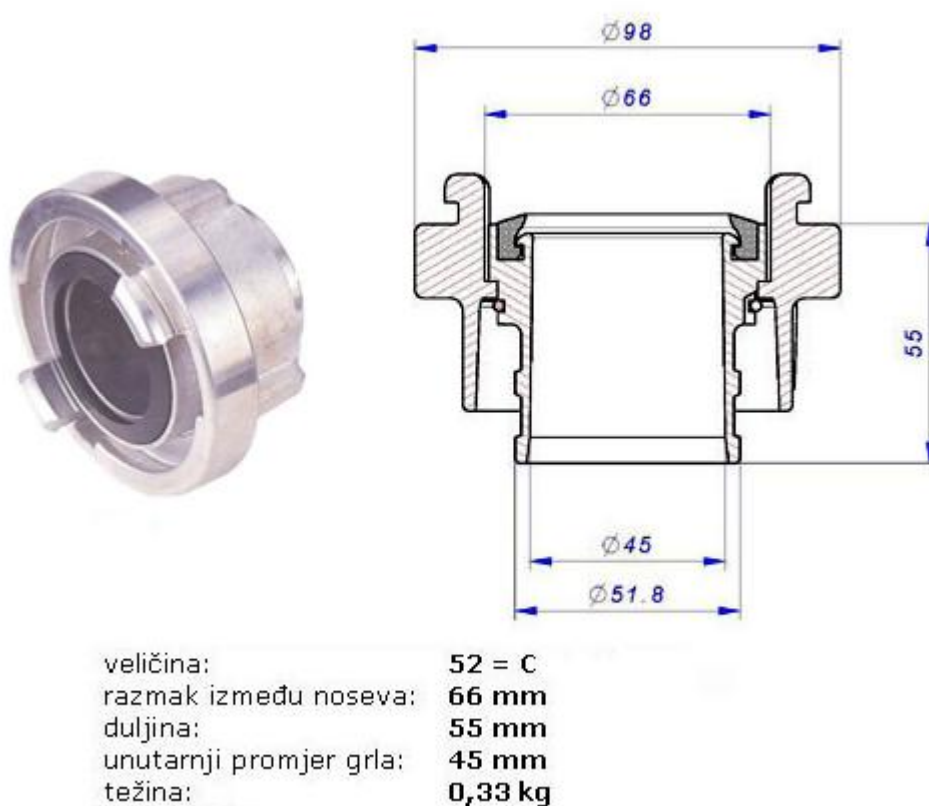
- kvačilo (tijelo spojnice)
- cjevasti dio (grlo)
- brtva
- osigurač

Kvačilo omogućava spajanje dviju spojnica istih promjera. Tip kvačenja koji se koristi na spojnica kod nas zove se storz i zato se kaže da se koriste storz spojnice. U inozemstvu se koriste još knaust, metz, angus i druge spojnice. [2]

Cjevasti dio služi da se na njega povezuju vatrogasne cijevi i kao držač brtve.

Brtve sprječavaju propuštanje vode na spoju dviju spojnica.

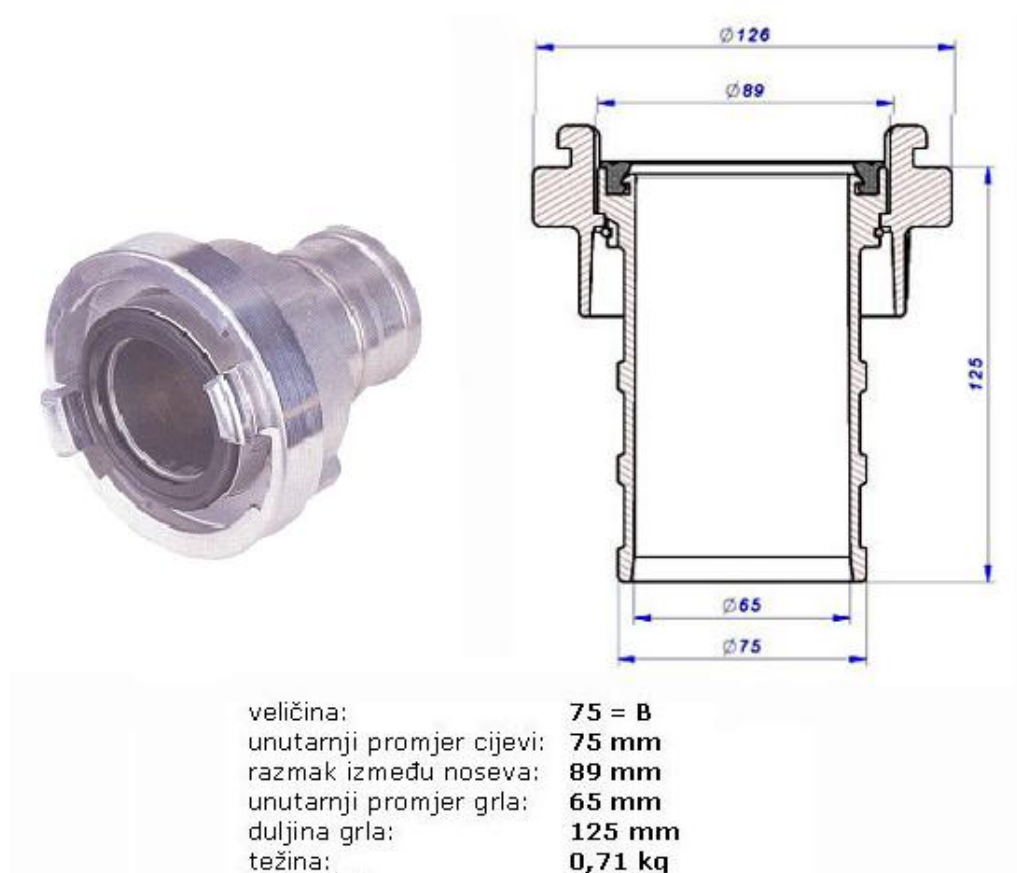
Osigurač povezuje kvačilo s cjevastim dijelom.



Slika 14. Tlačna cijevna spojnica [4]

Tablica 3. Vrste tlačnih spojnice [4]

Veličina	Razmak između noseva [mm]	Duljina L [mm]	Unutarnji promjer grla Φ , d [mm]	Materijali	Napomena	Težina [kg]
25=D	31	53	18	Al-kovana	DIN 14301	0,09
25=D	31	53	18	Cu		0,28
25=D	31	53	18	Nehrđajući čelik		0,25
25=D	31	53	18	Al-kovana	Silikonska brtva	0,09
25=D	31	53	18	Al-kovana	PN 40	0,09
25=D	31	53	18	Al-ljevana		0,09
52=C	66	55	36	Al-kovana	Din 14332	0,34
52=C	66	55	36	Cu		0,4
52=C	66	55	45	Al-ljevana		0,33
52=C	66	55	45	Al-kovana	Din 14302	0,32
52=C	66	55	45	Cu	DIN 86202	0,4
52=C	66	55	45	Nehrđajući čelik		0,35
75=B	89	60	65	Al-ljevana		0,55
75=B	89	60	65	Al-kovana	DIN 14303	0,56
75=B	89	60	65	Cu	DIN 86203	0,7
75=B	89	60	65	Nehrđajući čelik		0,6

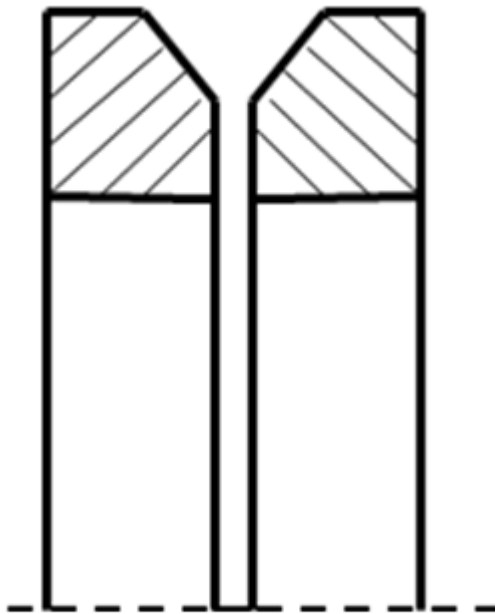


Slika 15. Usisna cijevna spojica [4]

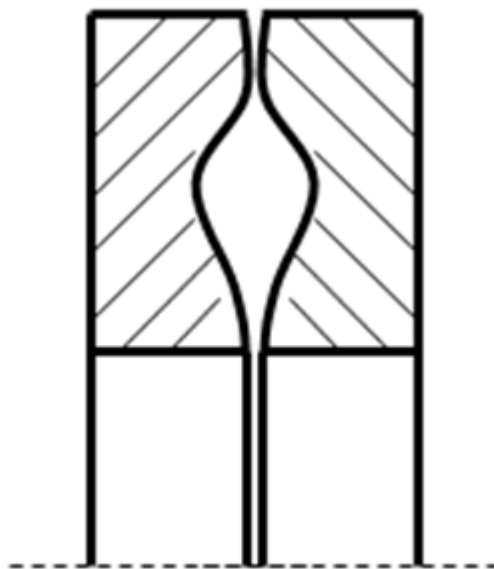
Tablica 4. Vrste usisnih spojnika [4]

Veličina	Unutarnji promjer cijevi Φ, d [mm]	Razmak između noseva a [mm]	Unutarnji promjer grla [mm]	Duljina grla [mm]	Materijali	Napomena	Težina [kg]
52=C	52	66	45	90	Al-ljevana		0,37
52=C	52	66	45	90	Al-kovana	DIN 14321	0,36
52=C	52	66	45	90	Al-kovana	Silikonska brtva	0,36
52=C	52	66	45	90	Cu		1,09
52=C	52	66	45	90	Nehrđajući čelik		0,75
52=C	52	66	45	90	Cu	PN 40	1,06
75=B	75	89	65	125	Al-ljevana		0,71
75=B	75	89	65	125	Al-kovana	DIN 14322	0,67
75=B	75	89	65	125	Cu		1,89
75=B	75	89	65	125	Nehrđajući čelik		1,58
110=A	110	133	100	170	Al-ljevana		1,65
110=A	110	133	100	170	Al-kovana	DIN 4323	1,66
110=A	110	133	100	170	Cu		5
110=A	110	133	100	170	Nehrđajući čelik		3,3
110=A grlo 100	100	133	90	170	Al-kovana		1,63
110=A grlo 100	100	133	90	170	Al-ljevana		1,7
110=A grlo 100	100	133	90	170	Cu		4,35
110=A grlo 100	100	133	90	170	Nehrđajući čelik		3,55
110=A grlo 100	100	133	90	170	Al-kovana	Silikonska brtva	1,6

Razlike između tlačne i usisne spojnice su u tome što je kut kvačenja kod usisne spojnice 90° , a kod tlačnih spojnika 180° . Nadalje cjevasti dio usisne spojnice je duži i ima više brtvenih prstenova jer je teže vezati debelo-stijenu usisnu cijev na spojnicu nego tanko-stijenu tlačnu cijev. I najveća razlika je u tome što se poprečni presjek brtve usisne spojnice razlikuje se od poprečnog presjeka brtve tlačne spojnice. Usisna brtva ima zadatak ne propustiti zrak u usisnu cijev, ali i ne propustiti vodu iz cijevi, dok tlačna brtva ima zadatak samo ne propustiti vodu iz tlačne cijevi.



Slika 16. *Poprečni presjek brtvi tlačnih spojnica [2]*



Slika 17. *Poprečni presjek brtvi usisnih spojnica [2]*

3.2. Stabilne spojnice

Stabilne spojnice prigraduju se vatrogasnim armaturama i drugoj vatrogasnoj opremi koju treba spajati s vatrogasnim cijevima. [2]

Osnovni dijelovi stabilne spojnice su [2]:

- kvačilo (tijelo spojnice) - omogućava spajanje dviju spojnica,
- brtva - sprječava propuštanje vode na spoju dviju spojnica,
- ravna brtva - brtvi na spoju kvačila i vatrogasne armature



Slika 18. Stabilna spojnica [4]

Tablica 5. Vrste stabilnih spojnice [4]

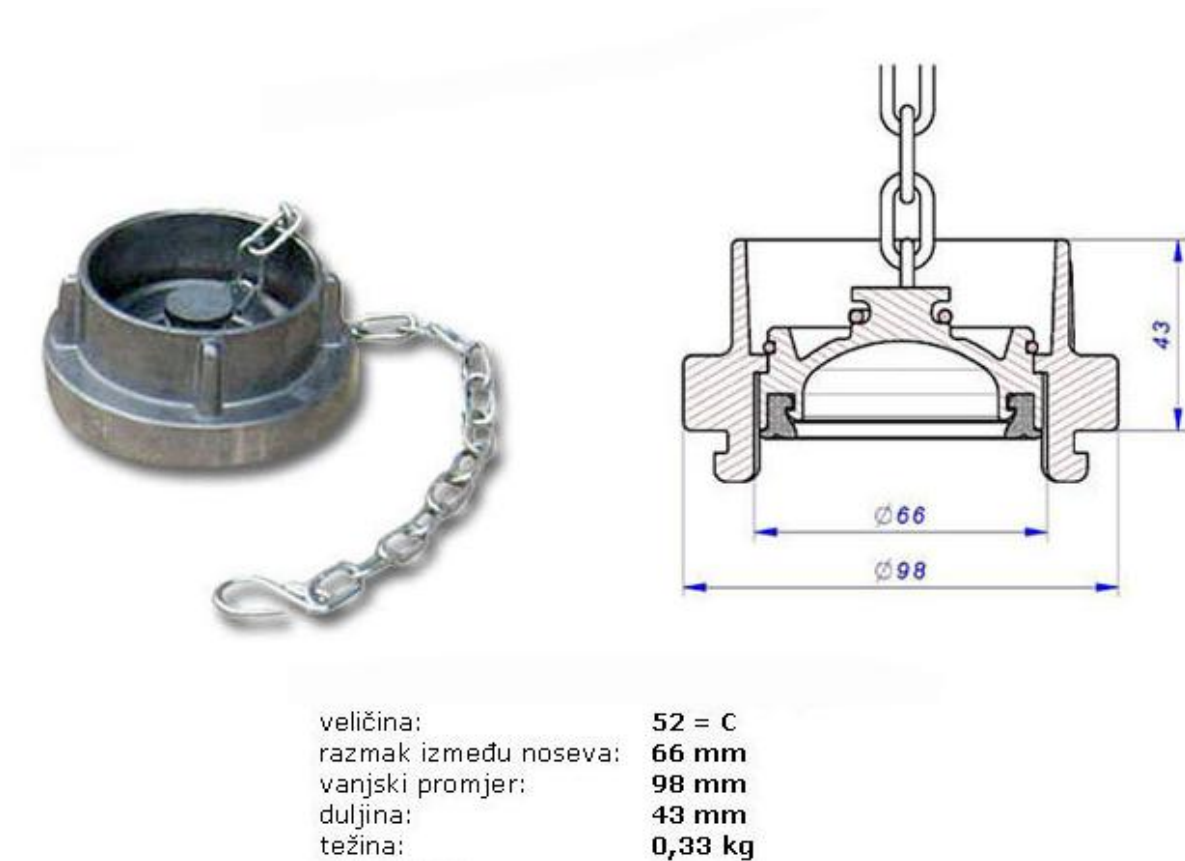
Veličina	Navoj	Razmak između noseva <i>a [mm]</i>	Duljina <i>L [mm]</i>	Unutarnji promjer grla $\Phi, d [mm]$	Materijali	Napomena	Težina [kg]
25=D	G1	31	30	18	Al-kovana	DIN 14306	0,08
25=D	G1	31	30	18	Al -kovana		0,08
25=D	G1	31	30	18	Cu		0,22
25=D	G1	31	30	18	Nehrđajući čelik		0,22
25=D	G1	31	30	18	Al-kovana	Silikonska brtva	0,08
25=D	G1	31	30	18	Al-kovana	PN 40	0,08
25=D	G1	31	30	18	Cu	PN 40	0,23
25=D	G1A	31	30	18	Al-kovana		0,08
25=D	G1A	31	30	18	Al-kovana	Silikonska brtva	0,08
25=D	G1A	31	30	18	Al-ljevana		0,08
25=D	G1A	31	30	18	Cu		0,22
25=D	G1A	31	30	18	Cu	PN 40	0,23
52=C	G2	66	40	44	Al-ljevana		0,24
52=C	G2	66	40	44	Al-kovana	DIN 14307	0,26
52=C	G2	66	40	44	Cu	DIN86204	0,63
52=C	G2	66	40	44	Nehrđajući čelik		0,5
52=C	G2	66	40	44	Al-kovana	Silikonska brtva	0,27
52=C	G2A	66	32	45	Al-kovana		0,22
52=C	G2A	66	32	45	Al-ljevana		0,21
52=C	G2A	66	32	45	Cu		0,21
52=C	G2A	66	32	45	Nehrđajući čelik		0,69
52=C	G2A	66	32	45	Al-kovana	Silikonska brtva	0,21
75=B	G21/2	89	42	64,5	Al-ljevana		0,39
75=B	G21/2	89	42	64,5	Al-kovana	DIN 14308	0,42
75=B	G21/2	89	42	64,5	Cu	DIN 86205	0,5
75=B	G21/2	89	42	64,5	Nehrđajući čelik		0,4
75=B	G21/2A	89	41	65	Al-ljevana		0,38
110=A	G41/2	133	48	100	Al-ljevana		1
110=A	G41/2	133	48	100	Al-kovana	DIN 14309	1,09
110=A	G4A	133	45	100	Al-ljevana		0,91
110=A	G4A	133	45	100	Al-kovana		0,92
110=A	G4A	133	45	100	Cu		1
110=A	G4A	133	45	100	Nehrđajući čelik		0,8

3.3. Slijepe spojnice

Slijepe spojnice služe za zatvaranje raznih otvora npr. na vatrogasnim pumpama, hidrantima i time sprječavaju ulaz štetnih tvari u cjevovode i uređaje te izlaženje vode. [2]

Osnovni dijelovi slijepe spojnice su [2]:

- kvačilo (tijelo spojnice) - omogućava spajanje dviju spojnica,
- čep - zatvara otvor spojnice,
- brtva - sprečava propuštanje vode na spoju dviju spojnica,
- osigurač - povezuje kvačilo s čepom,
- lančić - onemogućava gubljenje slijepe spojnice



Slika 19. Slijepa spojnica [4]

Tablica 6. Vrste slijepih spojnica [4]

Veličina	Razmak između noseva <i>a [mm]</i>	Vanjski promjer <i>b [mm]</i>	Duljina <i>L [mm]</i>	Materijali	Napomena	Težina <i>[kg]</i>
25=D	31	55	28	Al-kovana	DIN 14310	0,09
25=D	31	55	28	Al-ljevana		0,09
25=D	31	55	28	Nehrđajući čelik		0,2
25=D	31	55	28	Cu		0,26
52=C	66	98	43	Al-kovana	DIN 14311	0,35
52=C	66	98	43	Al-kovana	Bez lanca	0,23
52=C	66	98	43	Al-ljevana		0,33
52=C	66	98	43	Cu	Bez lanca	0,77
52=C	66	98	43	Nehrđajući čelik		0,76
52=C	66	98	43	Al-kovana	Silikonska brtva	0,36
75=B	89	125	45	Al-ljevana		0,52
75=B	89	125	45	Al-kovana		0,53
75=B	89	125	45	Al-kovana	Bez lanca	0,5
75=B	89	125	45	Nehrđajući čelik		1,25
75=B	89	125	45	Cu	Oblik K	1,2
75=B	89	125	45	Al-kovana	Silikonska brtva	0,52
110=A	133	185	48	Al-ljevana		1,3
110=A	133	185	48	Al-kovana	DIN 14313	1,29
110=A	133	185	48	Al-kovana	Bez lanca	1,29
110=A	133	185	48	Nehrđajući čelik		2,9
110=A	133	185	48	Cu		3,6
110=A	133	185	48	Al-kovana	Silikonska brtva	1,29

3.4. Prijelazne spojnice

Prijelazne spojnice služe za spajanje cijevi i armatura različitih promjera.

Osnovni dijelovi su [2]:

- kvačilo većeg promjera (tijelo spojnice),
- kvačilo manjeg promjera,
 - omogućavaju spajanje dviju spojnica istih promjera
- cjevasti prijelazni dio (grlo) - promjenljivog je promjera od većeg do manjeg,
- brtva većeg promjera,
- brtva manjeg promjera,
 - sprječavaju propuštanje vode na spoju dviju spojnica.
- osigurač - povezuje kvačilo s cjevastim prijelaznim dijelom
- vijci (2 kom) - spajaju kvačilo većeg i manjeg promjera



veličina: **75/52 (B/C)**
 razmak između noseva: **89/66**
 visina: **39 mm**
 težina: **0,62 kg**

Slika 20. Prijelazna Al spojnica [4]

Tablica 7. Vrste prelaznica [4]

Veličina	Razmak između noseva <i>a</i> [mm]	Duljina L [mm]	Materijali	Napomena	Težina [kg]
52/25 (C/D)	66/31	34	Al-kovana	DIN 14341	0,32
52/25 (C/D)	66/31	34	Al-ljevana		0,32
52/25 (C/D)	66/31	34	Cu		0,4
52/25 (C/D)	66/31	34	Nehrđajući čelik		0,25
75/52 (B/C)	89/66	39	Al-kovana	DIN 14342	0,62
75/52 (B/C)	89/66	39	Cu		0,8
75/52 (B/C)	89/66	39	Nehrđajući čelik		0,5
75/52 (B/C)	89/66	39	Al-ljevana		0,6
75/52 (B/C)	89/66	39	Al-kovana	Silikonska brtva	0,62
110/75 (A/B)	133/89	48	Al-kovana	DIN 14343	1,51
110/75 (A/B)	133/89	48	Al-ljevana		1,59
110/75 (A/B)	133/89	48	Cu		3,72
110/75 (A/B)	133/89	48	Nehrđajući čelik		2
110/75 (A/B)	133/89	48	Al-kovana	Silikonska brtva	1,55

4. Materijali i način izrade vatrogasnih mlaznica i spojnica

Vatrogasne mlaznice i vatrogasne spojnice izrađuju se većinom od aluminijskih i bakrenih legura i legura od nehrđajućeg čelika. Većina mlaznica i spojnica nastaje lijevanjem ili kovanjem a u novije vrijeme i ubrizgavanjem plastičnih masa u kalupe. Sve više su u upotrebi i mlaznice koje sastavljene od više različitih kombinacija materijala. Tako se uz aluminijske, bakrene i čelične legure koriste i materijali od poliamida, EPDM-a i kompozita ojačanih ugljičnim vlaknima. Poznati poduzeća koja se bave proizvodnjom mlaznica koriste isključivo osnovne aluminijske primarne legure s bakrenim sadržaj maksimalno do 0,03%, s kojim se dobiva visoka korozijska otpornost. Ako je potrebno, sve aluminijske komponente mogu biti podvrgnute dodatnim anodnim i oksidacijskim tretmanima za povećanje otpornosti na koroziju. Veći dio opreme ima dodatnu površinsku zaštitu zbog otpornosti na udarce ali i otpornosti na koroziju. [2], [3], [4]

4.1. Aluminijske legure

Legiranje ima za cilj prvenstveno poboljšanje mehaničkih svojstava, ponajprije vlačne čvrstoće i tvrdoće, zatim krutosti, rezljivosti, katkada žilavosti i livljivosti. Aluminijske legure upotrebljavaju se i u lijevanom i u gnječenom stanju. Mnogima od njih mogu se mehanička svojstva dalje poboljšati precipitacijskim očvršćućem. Brojne se koriste bez bilo kakve obrade. Najvažniji legirni elementi su: bakar (Cu), magnezij (Mg), silicij (Si), cink (Zn) i mangan (Mn). Kao dodaci ili primjese (nečistoće) prisutni su u manjoj količini željezi (Fe), krom (Cr) i titan (Ti). Kompleksnije legure nastaju njihovom međusobnom kombinacijom i uz dodatak i drugih legirnih elemenata koji poboljšavaju svojstva osnovne legure kao npr. čvrstoću i tvrdoću, omogućavaju toplinsko očvršćuće, pospješuju usitnjenje zrna i poboljšavaju rezljivost. Dodaci za posebne svrhe su nikal (Ni), kobalt (Co), litij (Li), srebro (Ag), vanadij (V), cirkonij (Zr), kositar (Sn), olovo (Pb), kadmij (Cd) i bizmut (Bi). Elementi berilij (Be), bor (B), natrij (Na) i stroncij (Sr) dodaju se u vrlo malim količinama. Svi legirni elementi su pri dovoljno visokim temperaturama potpuno topljivi u rastaljenom aluminiju. Topljivost elemenata je ograničena u kristalima mješancima. Neotopljeni elementi stvaraju vlastite faze ili intermetalne spojeve. Topljivost legirnih elemenata u aluminiju, kao i udio, veličina, oblik i raspodjela intermetalnih spojeva, određuje fizikalna, kemijska i proizvodna svojstva legura. Utjecaj legirnih elemenata na mikrostrukturu prikazuje se dijagramima stanja. Iz dijagrama stanja vidljiv je tijek skrućivanja, nastajanje faza i topljivost u čvrstom stanju u ovisnosti o temperaturi i sastavu. Dijagrami stanja vrijede za čiste legure u termodinamičkoj

ravnoteži. Pri proizvodnji i preradi tehničkih legura ti preduvjeti nisu ispunjeni i zato su moguće razlike između ravnotežnog i stvarnog stanja. [5]

4.1.1. Lijeване aluminijske legure

Lijeване aluminijske legure mogu se svrstati u tri osnovne grupe: Al-Si, Al-Mg i Al-Cu čijom se kombinacijom mogu dobiti legure s poboljšanim nekim od osnovnih svojstava.

Tablica 8. Osnovna svojstva lijevanih aluminijevih legura [5]

Mehanička otpornost	Livljivost	Rezljivost	Otpornost na koroziju	Tip legure	Predstavnik	
Mala	Dobra	Dobra	Vrlo dobra	Al-Mg	AlMg3, AlMg5	
				Al-Si-Mg	AlSi10Mg AlSi7Mg1	Mg omogućuje toplinsko očvrnuće
Mala	Vrlo dobra	Slaba	Dobra	Al-Si	AlSi12	
				Si-Si-Cu	AlSi5Cu1 AlSi6Cu2	Si negativno utječe na rezljivost, Cu omogućuje smanjenje Si, ali pogoršava otpornost na koroziju
Osrednja	Slaba	Dobra	Vrlo slaba	Al-Cu	AlCu4MgTi	

Aluminijeve legure mogu se lijevati jednako dobra ona sva tri osnovna načina: u pijesak, u kokilu i tlačno. Neke od njih mogu se dodatno precipitacijski očvrnuti, a neke se mogu i gnječiti, ali su osnovno lijevačke legure. Legure koje nisu namijenjene toplinskom očvršćivanju koriste se za opće namjene gdje su krutost, dobra korozijska postojanost i žitkost taljevine od veće važnosti nego li čvrstoća.

Osnovne značajke legura iz tablice 8. su sljedeće.

Kod *Al-Si legura* silicij je osnovni element koji doprinosi dobroj livljivosti aluminijevih legura pa su to najrasprostranjenije legure u grupi lijevanih legura, posebno one s 10-13% Si i rijetko s malom količinom bakra. Dobra kemijska postojanost čini ih pogodnim za primjenu u pomorstvu, a činjenica da su manje gustoće od Al-Cu legura čini ih pogodnima za primjenu u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji.

Glavna značajka *Al-Mg legura* je dobra korozijska postojanost zbog čega se kod ovih legura može postići visoki sjaj. Neke od njih su i otporne na udarce.

Eutektičke *Al-Si-Mg legure* su precipitacijski očvrstljive uz dodatak od 0,2-0,5% Mg. Odlikuju se dobro livljivošću. Radna temperatura uporabe odljevaka je do 200 °C.

Al-Cu legure su toplinski očvrstljive legure sa osrednje visokom čvrstoćom, srednjom ili slabom udarnom otpornošću, dobro otporne na višim temperaturama i dobro rezljive. Nadalje, slabe su livljivosti, a korozijska im je postojanost najslabija među svim aluminijevim legurama. Podnose radne temperature do 300 °C.

Al-Si-Cu legure su legure Al-Si kojima je dodan bakar radi poboljšanja čvrstoće i rezljivosti, uz cijenu gubitka livljivosti i otpornosti na koroziju smanjenjem udjela silicija i povećanjem udjela bakra. Dodatkom titana postiže se sitnozrnata mikrostruktura i zato ove legure imaju dobru žilavost, otporne su na udarce i dobro su obradljive odvajanjem čestica. [5]

4.1.2. Gnječene aluminijske legure

Osnovna podjela gnječenih aluminijskih legura temelji se na kemijskom sastavu i mogućnosti precipitacijskog očvršnuća. Jedna i druga podjela prikazana je u tablici 9.

Tabela 9. Podjela gnječenih aluminijskih legura [5]

Vrsta legura	Način očvršnuća
Al-Mn	Deformiranje u hladnom stanju
Al-Mg	
Al-Mg-Mn	
Al-Mg-Si	Precipitacijom
Al-Cu-Mg	
Al-Zn-Mg	
Al-Zn-Mg-Cu	
Al-Li-Cu-Mg	

Od legura koje očvršćuju hladnim deformiranjem zahtijeva se dovoljna čvrstoća i krutost u hladnom stanju, kao i dobra korozijska postojanost. Većina ovih legura ima mikrostrukturu koja se potpuno sastoji od čvrste otopine. To je dodatni faktor u prilog njihovoj velikoj duktilnosti i velikoj korozijskoj postojanosti.

Precipitacijski očvrstljive legure imaju prednost kad se traži povoljan omjer čvrstoće i gustoće. Osnovu precipitacijski očvrstljivih legura čine legirni elementi bakar, magnezij, cink i silicij koji s aluminijem ili međusobno stvaraju intermetalne spojeve. Očvršnuće postignuto precipitacijom je veće od onog hladnim oblikovanjem, pa je precipitacijsko očvršnuće osnovni postupak za povećanje čvrstoće i tvrdoće prethodno gnječenih legura. Drugi elementi poboljšavaju određena svojstva: titan nalazi primjenu kao dodatak za sitnije zrno, olovo i bizmut poboljšavaju rezljivost, a krom pospješuje precipitacijsko očvršnuće.

Osnovne značajke legura iz tablice 9. su sljedeće.

Al-Mg-Si legure ("antikorodal") otporne su na koroziju, uvjetno pogodne za zavarivanje, anodizaciju i poliranje.

Al-Cu-Mg legure ("dural") zbog povećanog udjela bakra imaju samo umjerenu postojanost na koroziju. Taj se nedostatak otklanja platiniranjem valjanih limova ili prešanih profila čistim aluminijem ili legurama otpornim na koroziju.

Al-Zn-Mg legure su najotpornije na kemijske utjecaje. One predstavljaju dobar kompromis glede čvrstoće i korозиjske postojanosti i uz to im je zavarljivost zadovoljavajuća.

Al-Zn-Mg-Cu legure ("konstruktal") su legure sa najvećom čvrstoćom među svim aluminijevim legurama, a posebno su osjetljive na napetosnu koroziju.

Al-Cu-Mg-Li legure su legure čiji se razvoj intenzivno razvija s ciljem poboljšanja mehaničko-proizvodnih svojstava. [5]

Tablica 10. Aluminijske legure koje se koriste u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica [3]

Aluminijska legura		
Način izrade	Kemijska formula	Karakteristike materijala
Lijevanje u pijesak	EN AC - AlSi7Mg0,3	Velika čvrstoća i žilavost, otpornost na koroziju
	EN AC - AlMg5(Si)	Kemijska i korозиjska postojanost
Gravitacijsko lijevanje	EN AC - AlSi7Mg0,3	Velika čvrstoća i žilavost, otpornost na koroziju
	EN AC - AlSi10Mg	Otpornost na tlak i vibracije, dobra postojanost na koroziju
Tlačni lijev	EN AC - AlSi12	Otpornost na tlak i vibracije, dobra postojanost na koroziju
	EN AC - AlSi12	Otpornost na tlak i vibracije, dobra postojanost na koroziju
Kovanje	EN AW- AlSi1MgMn	Izvrсна otpornost na koroziju, velika čvrstoća, pogodna za visoka opterećenja
Šipke i cijevi	EN AW- AlSi1MgMn	Izvrсна otpornost na koroziju, velika čvrstoća, pogodna za visoka opterećenja

4.2. Bakrene legure

Bakrene legure obično se klasificiraju na temelju vrste i udjela glavnih legirnih elemenata, ali svaka pojedina vrsta može sadržavati i druge elemente koji imaju značajan utjecaj na specifična svojstva. Glavne vrste legura označene su tradicionalnim imenima: mjedi i bronce.

Mjedi su zapravo legure bakra s cinkom kojima mogu biti dodani i drugi elementi. Postoje osnovno dvije vrste mjedi: α -mjedi koje su oblikovljive deformiranjem u hladnom stanju i $(\alpha+\beta)$ -mjedi koje su oblikovljive deformiranjem u toplom stanju.

Bronce su legure bakra sa kositrom. Ostale vrste bronca pored bakra mogu sadržavati još cink, olovo, aluminij, željezo, mangan, berilij, silicij. Ime dobivaju po elementu koji je prisutan u najvećoj količini. [5]

4.2.1. Legure bakra s cinkom

Glavne skupine legure bakra s cinkom su:

- a) legure bakra s cinkom ($>50\%$ Cu i $\leq 44\%$ Zn) – mjedi
- b) posebne mjedi (54-62% Cu, oko 7% drugih elemenata, ostatak Zn)
- c) legure bakra s niklom i cinkom (10-30% Ni) – novo srebro

Mjedi su glavne legure bakra s cinkom. Najrasprostranjenije su legure bakra s vrlo raznolikom primjenom koja slijedi na osnovi sljedećih svojstava: dobre električne i toplinske vodljivosti, dobrih mehaničkih svojstava, mogućnosti prerade u hladnom i toplom stanju i antikorozivnosti. Mogu biti α -mjedi koje su oblikovljive deformiranjem u hladnom stanju i $(\alpha+\beta)$ -mjedi koje su oblikovljive deformiranjem u toplom stanju.

Posebne mjedi se sastoje od 54-62% Cu i do oko 7% drugih elemenata, dok je ostatak cink. Legirni elementi poboljšavaju korozijsku postojanost i čvrstoću. To su toplo oblikovljive legure, a mogu se primijeniti i u lijevanom stanju. Utjecaj legirnih elemenata je sljedeći:

- *Aluminij* znatno povećava čvrstoću, a istezljivost pri tome ostaje nepromijenjena. Na površini mjedi aluminij stvara oksidni sloj koji štiti mjed od oksidacije. Dodatak 2% Al štiti mjed od oksidacije na povišenim temperaturama.
- *Nikal* povećava čvrstoću, otpornost na koroziju i djeluje na usitnjenje zrna pri žarenju.
- *Željezo* usitnjuje zrno i tako povećava čvrstoću.

- *Mangan* znatno povećava otpornost mjedi na koroziju u morskoj vodi i vodenoj pari, solima i kiselinama. Čvrstoća mjedi raste bez smanjenja žilavosti uz udio mangana do 4 %. Pri udjelu iznad 4 % smanjuju se žilavost i istezljivost.
- *Silicij* smanjuje zaostala naprezanja, povećava žitkost kod zavarivanja stvaranjem topljive troske.
- *Kositar* povećava otpornost na koroziju u morskoj vodi. Djeluje i na povećanje čvrstoće, ali se udio kositra ograničava na oko 1 %, jer u većem udjelu smanjuje istezljivost.

Legure bakra s cinkom i niklom su legure srebrnaste boje koje se dobivaju dodavanjem 10-30% Ni legurama s 55-63% Cu, a ostatak je cink. Cink poboljšava livljivosti prije svega pojeftinjuje leguru. Viši postotak cinka treba izbjegavati jer smanjuje otpornost na koroziju i čvrstoću. Po mikrostrukuri to su u potpunosti čvrste otopine i usporedive su po mehaničkim svojstvima sa sličnim mjedima. Vrlo su duktilne i mogu se hladno oblikovati. U odnosu prema pravim mjedima pokazuju bolju početnu otpornost što ih čini prikladnim za izradu relejnih opruga i posrebnog pribora. Legure koje sadrže olovo boljih su mehaničkih svojstava od odgovarajućih im mjedi pa se koriste u finoj mehanici, optici, graditeljstvu. Legura bakra s niklom također su kao i mjedi osjetljive na napetosnu koroziju koja je opisana kod mjedi. [5]

4.2.2. Legure bakra bez cinka

Glavne skupine legura bakra bez cinka su:

- a) legure bakra s kositrom (<15% Sn) – kositrene bronce
- b) legure bakra s aluminijem (<14 % Al) – aluminijeve bronce
- c) legure bakra s kositrom i/ili olovom (< 10 % Sn i/ili < 25% Pb) olovno-kositrene i olovne bronce
- d) legure bakra s berilijem (<2 % Be) – berilijeve bronce
- e) legure bakra s manganom te silicijem i manganom – manganove i silicijeve bronce
- f) legure bakra s niklom (<45 % Ni)

Kositrena bronca može nastati gnječenjem ili lijevanjem. Gnječene kositrene bronce imaju α -fazu i δ -fazu. α -faza je čvrsta otopina (kristal mješanac), žilava i duktilna i može se uspješno hladno oblikovati deformiranjem. δ -faza je prisutna u (α + δ)-broncama i čini ih prilično krhkima te kao takva ne smije biti prisutna u legurama koje su namijenjene za hladno oblikovanje. Većinom se kositrene bronce koriste kod dijelova kojima je potrebna velika

čvrstoća i otpornost na trošenje i koroziju poput kliznih ležajeva, opruga, cijevi i dijelova u kemijskoj industriji. Lijewane kositrene bronce prvenstveno se koriste za izradu kliznih ležajeva budući da im mikrostruktura potpuno ispunjava uvjete za tu namjenu. Tvrde čestice δ -faze otporne na trošenje uložene su u matricu koju čini α -faza otporna na udarce.

Aluminijeve bronce mogu se podijeliti u dvije glavne grupe: (hladno i toplo) oblikovljive i livljive legure. Glavna industrijska primjena aluminijeve bronce slijedi iz ovih značajki:

- sposobnost zadržavanja čvrstoće pri povišenim temperaturama,
- velika otpornost na oksidaciju pri povišenim temperaturama,
- dobra otpornost na koroziju pri uobičajenim temperaturama uporabe,
- dobra otpornost na trošenje,
- dopadljiva boja čini neke od ovih legura uporabivim u dekorativne svrhe, osobito kao zamjena za zlato u izradi umjetnog nakita.

Ozbiljna zapreka široj uporabi aluminijeve bronce su poteškoće koje se javljaju kod lijevanja. Zbog lake oksidacije aluminija na visokim temperaturama lijevanja (iznad 1100 °C) stvara se oksidna kožica i troska na tekućem metalu koje dospijevaju u kalup tijekom lijevanja. [5]

Tablica 11. Bakrene legure koje se koriste u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica [3]

Bakrena legura		
Način izrade	Kemijska formula	Karakteristike materijala
Lijevanje u pijesak	EN 1982 - CuSn5Zn5Pb5	Jako dobra korozijska otpornost i u morskoj vodi, koristi se za armature za vodu i paru do 225 °C
	EN 1982 - CuSn5Zn5Pb5	Jako dobra korozijska otpornost i u morskoj vodi, koristi se za armature za vodu i paru do 225 °C
Gravitacijsko lijevanje	EN 1982 - CuZn39Pb1Al	Dobro obradljiv, otporan na koroziju i morsku atmosferu
Kovanje	EN 12420 - CuZn39Pb3	Pogodan za toplu obradu, dobro rezljiv, srednje korozijski otporan
Šipke	EN 12164 - CuZn39Pb3	Pogodan za toplu obradu, dobro rezljiv, srednje korozijski otporan
Šuplje šipke	EN 12168 - CuZn39Pb3	Pogodan za toplu obradu, dobro rezljiv, srednje korozijski otporan
Cijevi	EN 12449 - CuZn39Pb3	Pogodan za toplu obradu, dobro rezljiv, srednje korozijski otporan

4.3. Čelik

Čelik je metastabilno kristalizirana legura željeza i ugljika, uz prisutne pratioce (Si, Mn) i nečistoće (P i S). Čelici su danas najvažniji tehnički materijali u proizvodnji i primjeni. Niti jedna druga skupina ne može legiranjem u tako širokom opsegu mijenjati svojstva kao čelik. Legirani čelik sadrži osim željeza i ugljika jedan ili više legiranih elemenata. Čelik se legira određenom količinom nekog elementa da bi se dobilo traženo svojstvo ili kombinacija svojstava. Neminovno se legiranjem neka svojstva i pogoršavaju. Prema europskim normama čelik je legiran ako sadrži jedan ili više elemenata čiji maseni udio prelazi vrijednosti navedene u tablici 12. [5]

Tablica 12. Granični maseni udjeli elemenata koji odjeljuju nelegirane od legiranih čelika (EN 10020) [5]

Legirni element	Granični maseni udio, [%]
Aluminij	0,10
Bor	0,0008
Krom	0,30
Kobalt	0,10
Bakar	0,40
Mangan	1,60
Molidben	0,08
Nikal	0,30
Niobij	0,05
Olovo	0,40
Selen, telur	0,10
Silicij	0,50
Titan	0,05
Volfram, vanadij	0,10
Cirkonij	0,05

Čelici se prema masenim udjelima legirnih elemenata uobičajeno dijele na:

- niskolegirane (s udjelima legirnih elemenata do 5 %) i
- visokolegirane (s masenim udjelom barem jednog legirnog elementa više od 5 %).

Legirani čelici se primjenjuju u onim slučajevima gdje se traže neka istaknuta svojstva koja se ne mogu postići nelegiranim čelicima poput: mehaničkih svojstava, prokaljivosti, otpornosti na koroziju, otpornosti na trošenje, vatrootpornosti i slično. [5]

Tablica 13. Čelik koji se koristi u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica [3]

Legura čelika		
Način izrade	Kemijska formula	Karakteristike materijala
Temper lijev		
Investicijsko lijevanje	GX 20Cr14	Koristi se za dijelove izložene slabijoj koroziji; materijal pruža dobra obradna svojstva, koristi se i kod zapornih ventila i steznih klinova
	GX 5CrNiMo 19-11-2	Dobra otpornost na koroziju. Ovaj materijal je pogodan za korištenje sa gotovo svim organskim tekućinama
	GX CrNiMoNb 09-11-2	Materijal namijenjen upotrebi za dijelove koje treba zaštititi od korozije, štiti u širokom rasponu od djelovanja korozije
Šipke	X 30Cr13	Tvrđi nehrđajući materijal, otporan na trošenje i koroziju
Cijevi	X8CrNiS 18-9	Jedan od najpopularnijih čelika namijenjen za obradu. Karakterizira ga dobra čvrstoća, otpornost na koroziju i jako dobra obradivost.
	X6CrNiMoTi 17-12-2	Ovaj materijal svojom otpornošću na kiseline nailazi na još širu primjenu kod izrade cjevovoda za visoko pročišćenu vodu, vodu za injekcije, ima posebnu primjenu u farmaceutskoj i kemijskoj industriji

4.4. Primjeri mlaznica koje su nastale kombinacijom različitih materijala

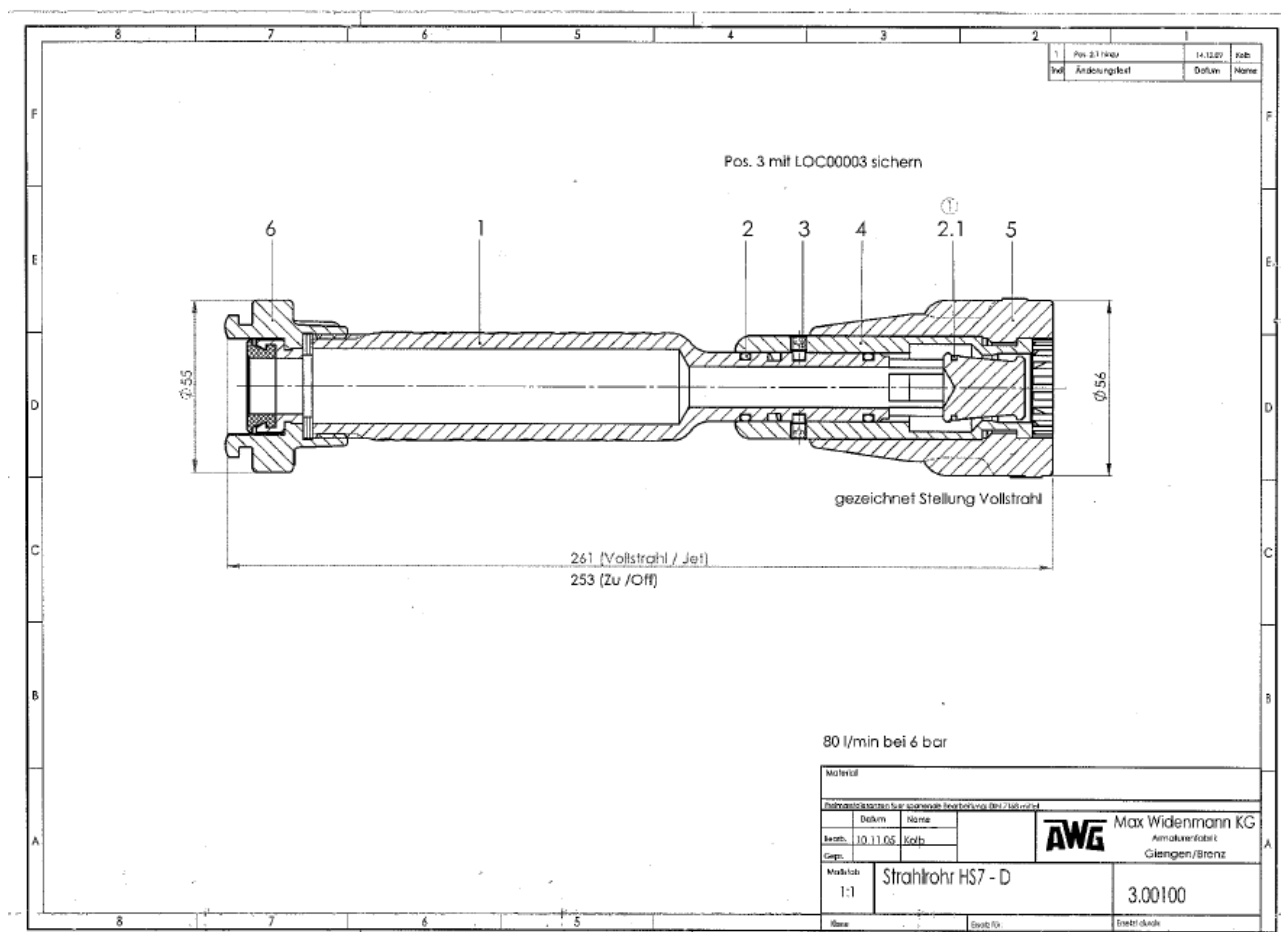
U današnje vrijeme sve više se koriste mlaznice koje su sklopljene od više vrsta materijala. Razvoj tehnologije omogućava razna nova konstrukcijska rješenja koja je potrebno usuglasiti sa potrebama i zahtjevima vatrogasaca i na taj način ih uklopiti u novi proizvod. Najvažniji zahtjevi koji se moraju poštovati su: otpornost na koroziju, otpornost na udarce, otpornost na trošenje, lagani materijali te naravno funkcionalnost i efikasnost.

4.4.1. Univerzalna mlaznica HS 7, poduzeća AWG

Univerzalna mlaznica HS 7 sa Storz D spojnicom je efikasna, laka i otporna na morsku vodu, univerzalne namjene za gašenje i hlađenje. Kontinuirano podešavanje od zatvorenog stanja preko punog mlaza do raspršenog mlaza od 0 do 120 stupnjeva na glavi mlaznice. Protok pri tlaku od 6 bar: puni mlaz daje približno 84 l/min, dok raspršeni mlaz daje približno 355 l/min. Materijal: kućište od plastomera (POM), difuzor od poniklanog mesinga presvučenog gumom, ventil od poliamida i nehrđajućeg čelika. Dimenzije mlaznice su: promjer: 57 mm, dužina: 262 mm. Masa mlaznice je približno 0,4 kg. [3]



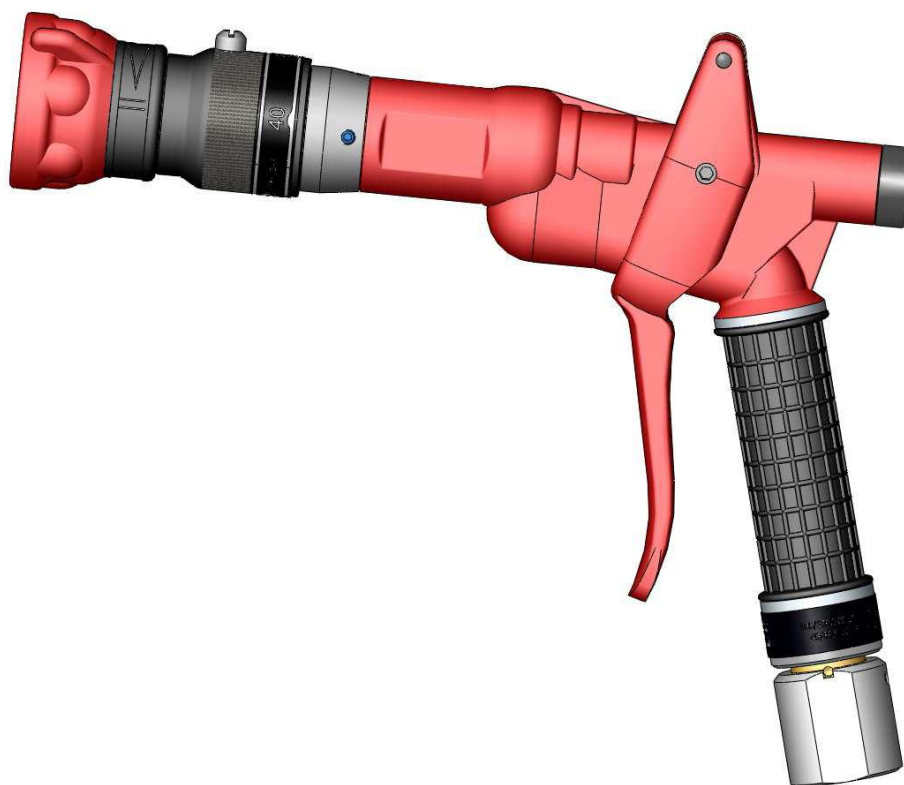
Slika 21. Univerzalna mlaznica HS 7 [3]



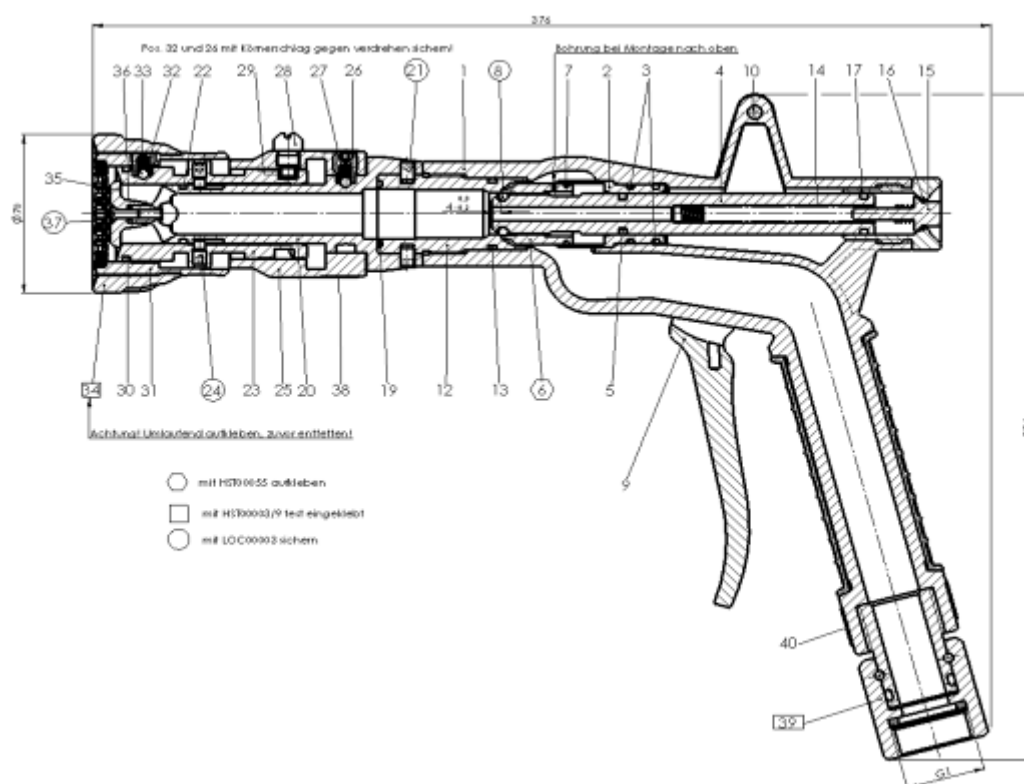
Slika 22. Presjek univerzalne mlaznice HS 7 [3]

4.4.2. Turbo mlaznica 2130HD PN40

Ovaj tip turbo mlaznice je jedan od najsuvremenijih mlaznica. Podešavanje protoka može se podesiti okretanjem ručke i tako se mogu dobiti protoci od 40, 80 i 130 l/min kod tlaka od 6 bara. Mlaznica radi i kod viših tlakova čak do 40 bar. Ima mogućnost podešavanja od zatvorenog stanja preko punog mlaza do raspršenog mlaza. Dimenzije mlaznice su: 370x294x71mm, a težina mlaznice je približno 2,2 kg. Tijelo mlaznice je napravljeno od eloksiranog aluminija, unutrašnji dijelovi od nehrđajućeg čelika i anodiziranog aluminija, a glava mlaznice je od EPDM-a. [3]



Slika 23. Turbo mlaznica 2130HD PN40 [3]



Slika 24. Presjek Turbo mlaznice 2130HD PN40 [3]

Tablica 14. Vrste materijala koji se koriste u poduzeću AWG za proizvodnju mlaznica i vatrogasnih armatura, [3]

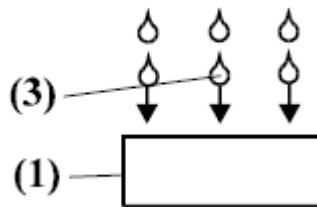
Identifikacijski broj u katalogu poduzeća AWG	Vrsta materijala
31	Aluminijska kovana legura
32	Aluminijske lijevane legura
33	Čisti aluminij
34	Eloksirani aluminij
39	Aluminij s ostalim vrstama površinske obrade (kromiran, poliran, plastificiran)
40	Crni eloksirani aluminij
41	Žuti eloksirani aluminij
42	Željezo nastalo temper ljevom
44	Čelik
45	Nehrđajući CrNi čelici
46	Visoko plemeniti CrNiMo čelici
47	Čelici za opruge
48	Pocinčani čelici
49	Čelik s ostalim vrstama površinske obrade
50	Prirodna guma
51	Crna nitrilna guma
54	Razne verzije PTFE
57	PUR-Vulkolan
58	PUR-Adipren
59	Poliamid
61	Silikonska guma
62	Ostala plastika
65	EPDM
58	Bijele nitrilne gume
69	Crne nitrilne gume
70	Spoj perbunana i PTFE
81	Aluminij zeleni eloksirani
82	Aluminij crveni eloksirani
83	Aluminij plavi eloksirani
85	Pocinčani aluminij
91	Mjedena kovana legura
92	Mjedena lijevana legura
93	Mjed
94	Bronca
96	Bakar
97	Poniklane mjedi i bronce
98	Kromirane mjedi i bronce

5. Proces erozije kapljevnom

5.1. Erozija kapljevnom

Erozija kapljevnom je trošenje izazvano strujanjem kapljevine ili plina s kapljicama, [6]. Situacija je slična kao kod erozije česticama ali bez krute faze. Zato je isključen abrazijski mehanizam trošenja a ostaje umor površine kao najopasniji mehanizam trošenja. On postaje problem tek kod brzine sudara iznad 100 m/s. Također, ukoliko se radi o agresivnom mediju, prijeti opasnost i od intenzivne tribokorozije.

Shema procesa erozije česticama prikazana je na slici .



Slika 25. Shema procesa erozije kapljevnom [6]

(1) - funkcionalni dio

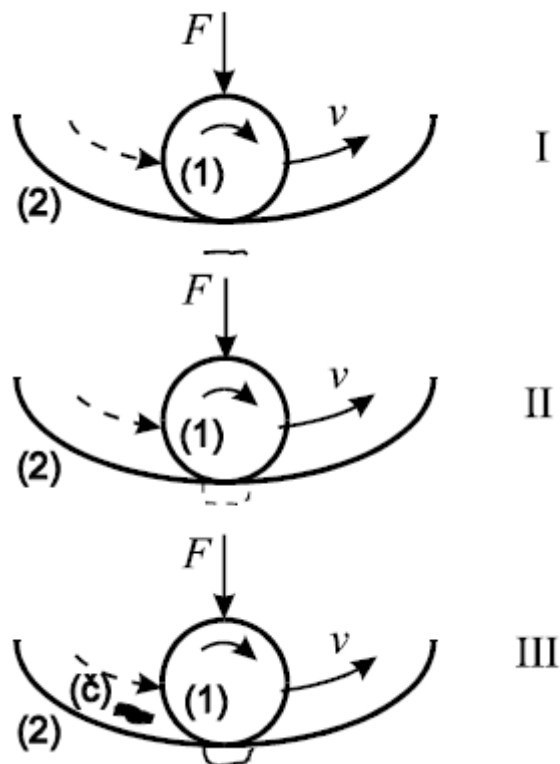
(3) – kapljice

Relativno gibanje se može opisati kao strujanje. Postoji sljedeći stupanj opasnosti od pojedinih mehanizma trošenja:

- Umor površine – jako visoki
- Tribokorozija – niski.

Umor površine je odvajanje čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprezanja, [6].

Jedinični događaj umora površine prikazan je na slici s tri faze.



Slika 26. Jedinični događaj umora površine [6]

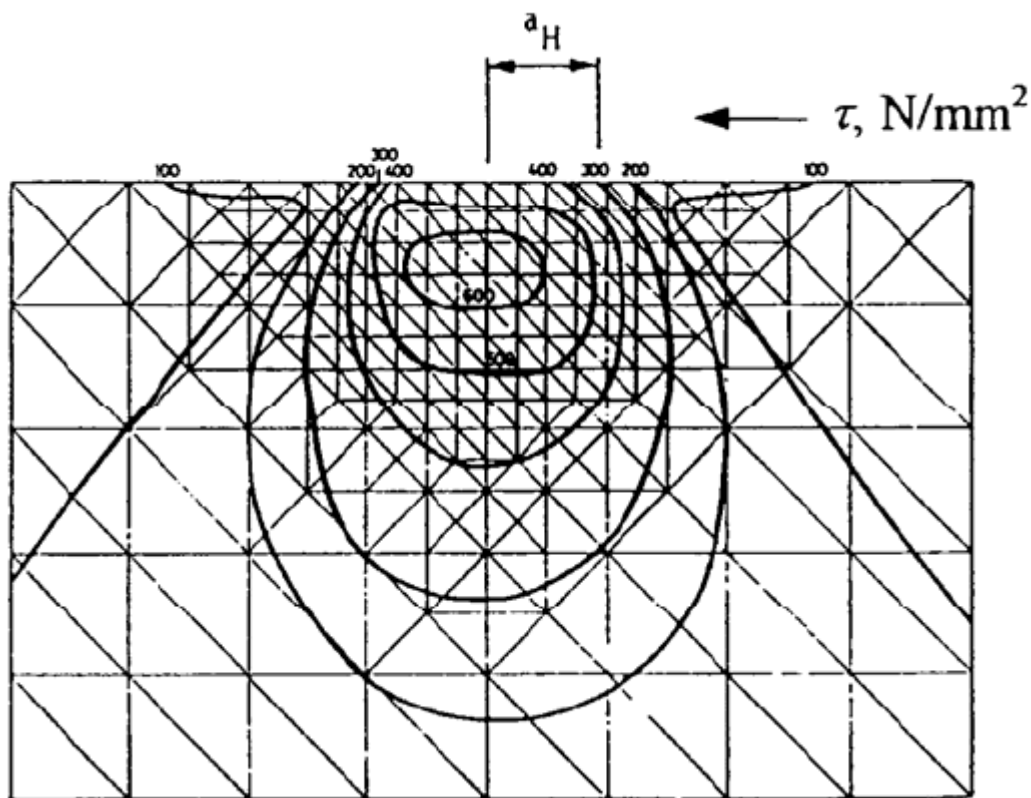
Faza I - Stvaranje mikropukotine, redovito ispod površine

Faza II - Napredovanje mikropukotine

Faza III - Ispadanje čestice trošenja, obično oblika pločice ili iverka

U prvoj fazi nastaje podpovršinska pukotina jer je najveće smično naprezanje kod koncentriranog dodira (tzv. Hertz-ovo naprezanje) uvijek ispod same površine, slika.

Ovo je tzv. faza inkubacije jer praktički nema nikakvog odvajanja čestica.



Slika 27. Raspodjela smičnih naprezanja za slučaj dodira ravnina / valjak i normalnog opterećenja, [6]

U drugoj fazi podpovršinska pukotina izbija na površinu. Od toga trenutka iz pukotine redovito izlaze sitne kuglaste čestice.

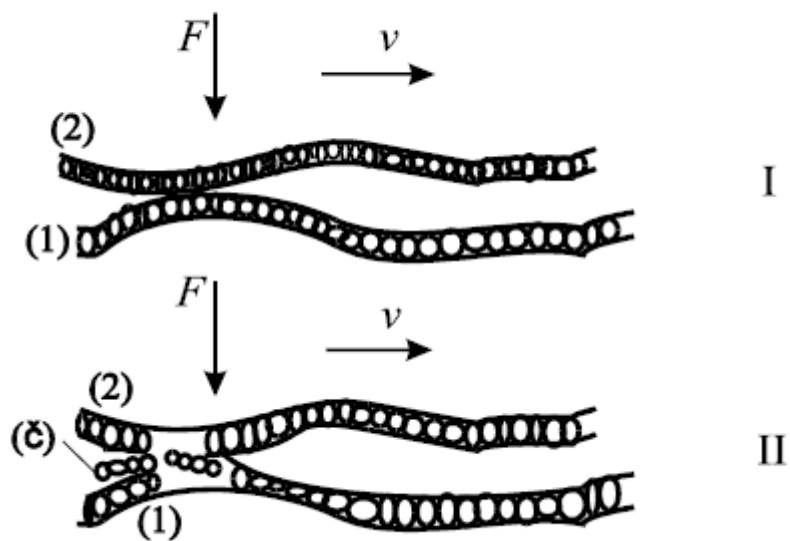
U trećoj fazi jediničnog događaja umora površine dolazi do ispadanja krupne čestice oblika ivera, što na površini ostavlja oštećenje oblika rupice. Zato se ovaj oblik trošenja uobičajeno naziva pitting (rupičenje).

Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem, [6].

Jedinični događaj tribokorozije s dvije faze prikazuje slika.

I - stvaranje (ili obnavljanje) sloja produkata korozije

II - mjestimično razaranje sloja produkata korozije



Slika 28. Jedinični događaj tribokorozije [6]

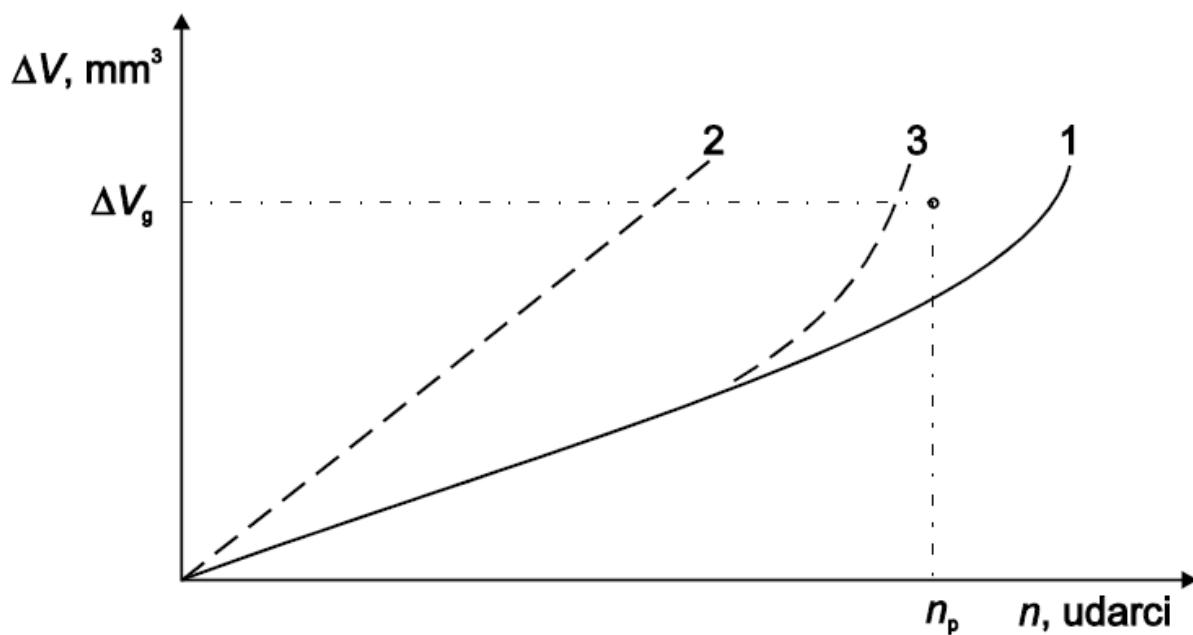
Pokazatelj otpornosti na trošenje je dinamička izdržljivost površine.

Karakteristični primjeri erozije kapljevinom su:

- lopatice parnih turbina
- zrakoplovi.

U našem slučaju gdje dolazi do trošenja mlaznice uslijed prolaska vode kroz mlaznicu javljaju se dva procesa trošenja erozijom kapljevinom. Tako prema smjeru gibanja kapljevine razlikujemo eroziju udarom kapljica gdje je dominantan mehanizam trošenja umor površine i eroziju kapljevinom pri strujanju gdje je dominantan mehanizam trošenja tribokorozija.

Moguće promjene iznosa trošenja pri eroziji kapljevinom prikazane su slikom .



Slika 29. Procesi trošenja pri eroziji kapljevinom [6]

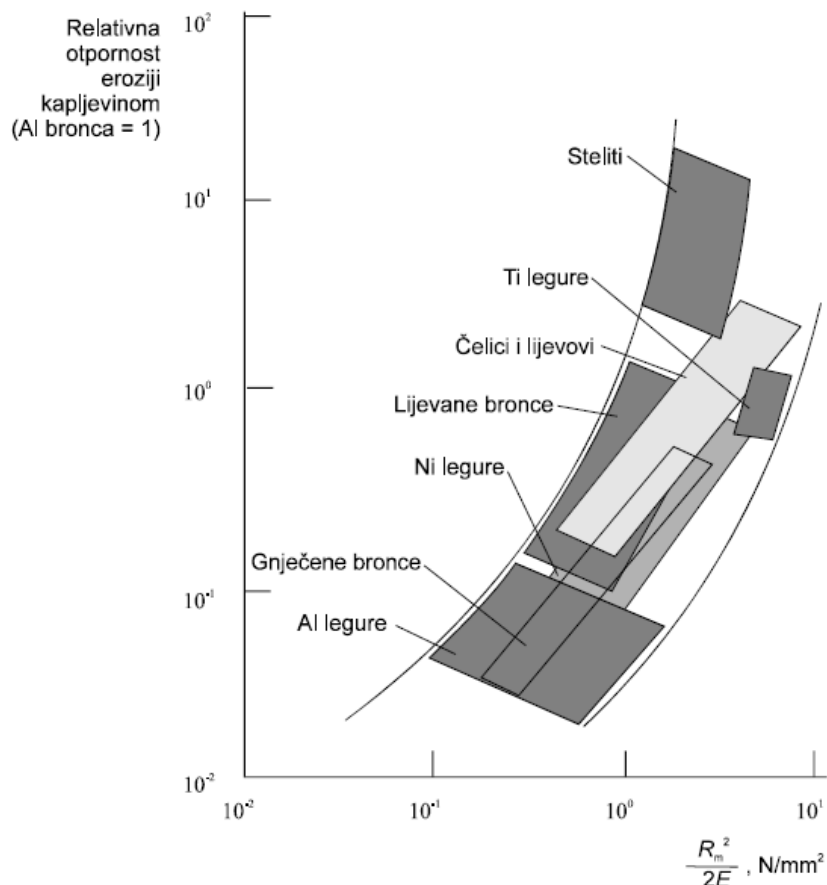
Krivulja 1 – normalni proces trošenja

Pravac 2 – preintenzivno tribokorozijsko trošenje

Krivulja 3 – prerani umor površine

Mjera za izbjegavanje erozije kapljicama je izbor materijala dovoljne dinamičke izdržljivosti.

Usporedba materijala prema otpornosti na eroziju kapljevinom dana je na slici .



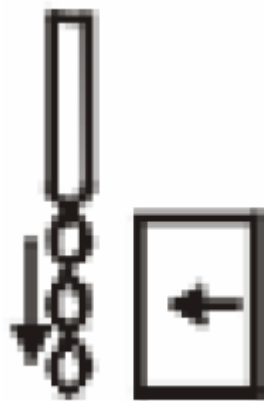
Slika 30. Relativna otpornost nekih materijala na eroziju kapljevnom, [6]

5.2. Eksperimentalno određivanje otpornosti na eroziju kapljevnom

Indeks otpornosti na koroziju (NER) je broj koji se dobiva dijeljenjem gubitka volumena ispitivanog materijala s gubitkom volumena određenog referentnog materijala ispitivanog i analiziranog na sličan način. Ispitivanje se nakon pričvršćivanja epruvete na disk ili konzolu tako da epruvete prolaze kroz i udaraju o mlaz ili gusto raspršenu kapljevinu. Vaganjem epruveta tijekom ispitivanja dobivaju se podaci za crtanje krivulje "gubitak mase-trajanje ispitivanja" na temelju koje se određuje indeks otpornosti na eroziju.

Ova metoda služi za procjenu erozijske otpornosti materijala u slučajevima kada su čvrste površine izložene opetovanim udarcima kapljica ili mlaza kapljevine. Primjenjuje se za ispitivanje metalnih i polimernih materijala, kompozita i prevlaka. [6]

Erozija kapljevnom u praksi se provodi pod određenim normama i poznata je pod nazivom ASTM G 73. Na slici . prikazana je shema ispitivanja, a u tablici je dan opis i parametri ispitivanja.



Slika 31. Shema ispitivanja erozije kapljevnom [6]

Tablica 15. Ispitivanje erozije kapljevnom [6]

Svrha ispitivanja	Određivanje otpornosti na eroziju udarom kapljica (ili mlaza) tekućine o površinu uzorka materijala
Uzorci	Ravna ili zakrivljena površina hrapavosti između 0,4 i 1,6 μm
Uvjeti ispitivanja	<ul style="list-style-type: none"> - Brzina udara: 50-1000 m/s - Promjer kapljica ili mlaza: 0,1-5 mm - Tlak struje zraka 140 kPa - Temperatura: 18-28°C - Vrijeme: 10 min
Mjerenje	<ul style="list-style-type: none"> - Gubitak mase - Topografija - Metalografija - Iznos erozijskog trošenja
Vrsta trošenja	Erozija kapljevnom

6. Materijali i postupci zaštite od erozije kapljevinom

Pod zaštitom površina od trošenja podrazumijeva se primjena nekog od postupaka oplemenjivanja površina. Posebna znanstveno stručna disciplina koja se bavi ovim postupcima naziva se inženjerstvo površina (“*surface engineering*”). Prema [6], suština pojma inženjerstvo površina je u tome, da se osnovni materijal (supstrat), prethodno odgovarajuće pripremljen, (i možda već očvrstnut na površini odgovarajućim postupkom), naknadno obrađuje jednom od površinskih tehnologija, tako da nastaje kombinacija svojstava površinskog sloja i osnovnog materijala kakva se ne može postići upotrebom bilo kojeg jednorodnog materijala. Tako nastaju površinski modificirani kompozitni materijali.

Izbor materijala triboelemenata od odlučujuće je važnosti za ispravno funkcioniranje tribosustava. Za pravilan izbor potrebno je odrediti koji je prevladavajući mehanizam trošenja (abrazija, adhezija, umor površine ili tribokorozija). Sam izbor materijala provodi se na temelju laboratorijskih i eksploatacijskih ispitivanja. [6]

Kod odabira materijala i postupaka zaštite od procesa erozije kapljevinom prvenstveno treba uzeti u obzir primarne zahtjeve da mlaznica ne izgubi funkcionalnost i efekat gašenja. Pri tome treba uzeti u obzir i bitne zahtjeve vezane uz cijenu, tehnologičnost, otpornost na udarce i koroziju te otpornost na trošenje. Uslijed korištenja mlaznica dolazi do njihovog trošenja. Gibanjem kapljevine dolazi do dva procesa trošenja mlaznica erozijom kapljevinom. Tako razlikujemo eroziju udarom kapljica gdje je dominantan mehanizam trošenja umor površine i eroziju kapljevinom pri strujanju gdje je dominantan mehanizam trošenja tribokorozija. Svaki od ta dva mehanizma trošenja ima svoje prikladne materijale i postupke za zaštitu od erozije kapljevinom. Tako su u narednim poglavljima erozija udarom kapljica i erozija tekućinom promatrani kao dva zasebna procesa.

6.1. Materijali i postupci za zaštitu od erozije udarom kapljica

Najčešće spomenuti materijali i postupci koji se koriste za zaštitu erozije udarom kapljica su vezani uz toplinski naštrecane slojeve, preciznije, uz legure na osnovi željeza, legure na osnovi nikla i kobalta, legure na osnovi aluminijske i bakra te uz disperzijske i legirane slojeve. Disperzijski i legirani slojevi se dobivaju jednom vrstom navarivanja na osnovni materijal te nama u ovom radu kao takvi nisu zanimljivi zbog ne mogućnosti primjene na vatrogasnim mlaznicama. U sljedećim poglavljima je detaljnije opisan svaki od ovih postupaka. [7]

6.1.1. Legure na osnovi željeza

Paleta legura na osnovi željeza koje se mogu naštrcati vrlo je široka i to u obliku žica i prahova. U našem slučaju naštrcavanje žicom nije poželjno zato što slojevi nisu popunjeni do kraja nego postoje pore između slojeva zbog kojih postoji opasnost od korozije donjih slojeva.

Prahovi na osnovi željeza se nanose plamenim, plazmatskim ili visokobrzinskim plamenim naštrcavanjem. Pritom se najčešće upotrebljavaju krom i krom-nikal čelici. Postoji čitav niz spojeva: Fe-(Cr)-(Al)-Mo, Fe-(Mo)-Al i Fe-Ni-Al. Krom-nikal čelici se uglavnom primjenjuju kod srednjeg do jakog abrazijskog trošenja, a odgovarajuće debljine mogu pružiti zaštitu i od trošenja erozijom udara kapljica. Odabrani proces prevlačenja ima značajnu ulogu i kod korozije jer ima odlučujući utjecaj na udio pora i oksida u sloju. Najbolja otpornost na koroziju Cr-Ni čelika dobiva se postupkom visokobrzinskog plamenog naštrcavanja. Spojevi Fe-Mo u pravilu služe za zaštitu žarnim površinama, za zaštitu od abrazije i zaribavanja. Spojevi Fe-Cr-Al-Mo imaju dobru otpornost na djelovanje sumpornih atmosfera i otporni su na oksidaciju. Osim toga, upotrebljavaju se u slučajevima kada je potrebna otpornost na abraziju, eroziju, zaribavanje i kavitaciju. Spojevi na osnovi Ni-Al kod naštrcavanja reagiraju egzotermno i zbog toga dolazi do dobrog prijanjanja sloja uz osnovni materijal.

Konstruktivski preduvjeti za obradu tehničkim naštrcavanjem legura na osnovi željeza odgovaraju zahtjevima koji su navedeni u DVS-Merkblatt 2308 – Pravila za oblikovanje dijelova i obradaka tehničkim naštrcavanjem.

Prah na osnovi željeza nanosi se plamenim naštrcavanjem, plazmatskim i visokobrzinskim plamenim naštrcavanjem. Troškovi procesa su najviši kod visokobrzinskog plamenog naštrcavanja, kojim se dobivaju najbolje kvalitete sloja – u pogledu debljine, udjela oksida, gubitka legiranih elemenata. Takvi se slojevi prvenstveno primjenjuju kod kombinacije trošenja i korozije i kod čiste korozije.

Za osnovne materijale dolaze u obzir svi čelici, nikal i njegove legure, sivi i čelični ljevovi. Primjena legura na osnovi željeza na kromiranim, odnosno nitriranim ili lokalno otvrdnutim površinama je ograničena te u vezi s tim treba izvršiti odgovarajuće pretpokuse.

Površinu obratka prije prevlačenja treba ohrapaviti. To se obično obavlja sačmarenja prikladnim sredstvima. Površinu obratka koji se prevlači prethodno treba odmastiti. Nije potrebno određeno toplinski obrađeno stanje. U principu, prevlačiti se mogu i zakaljane i poboljšane površine ukoliko se površina može ohrapaviti. Toplinsko-kemijski obrađene

površine, ovisno o vrsti difuzijskog sloja i njegovu nastanku, ne mogu se prevlačiti ili je to prevlačenje tek uvjetno moguće.

Debljine slojeva kod plazmatskih, a poglavito kod visokobrzinskih plamenih naštrcavanja iz ekonomskih se razloga nanose tanki slojevi. Pritom, ovisno o namjeni, područje debljine sloja još može biti opravdano. Kod upotrebe plamena s automatskim posmakom mogu se proizvesti debljine sloja i konture u uskim tolerancijskim područjima. [7]

6.1.2. Legure na osnovi nikla i kobalta

Materijali za naštrcavanje na osnovi nikla često su u obliku praha. Takvi se slojevi obrađuju atmosferskim plazmatskim naštrcavanjem ili vakumskim plazmatskim ili visokobrzinskim plamenim naštrcavanjem. Materijali na osnovi Ni-Mo-Al prikladni su za srednje tvrde slojeve, za otvrdnjavanje ležaja i primjene u uvjetima trošenja. Slojevi su samoprianjajući, izuzetno žilavi, odlikuju se dobrom otpornošću na eroziju i koroziju te značajnom otpornošću na udar.

Materijali za naštrcavanje na osnovi kobalta u pravilu se nanose u obliku praha. Pretežno se radi o CoCrAlY materijalima ili materijalima na osnovi kobalta s visokim udjelom kroma i nikla. Za obradu ovih materijala koriste se atmosfersko, vakuumsko plazmatsko ili visokobrzinsko plameno naštrcavanje. Spomenuti materijali upotrebljavaju se za zaštitu od korozije, abrazije i erozije.

Ovi procesi po cijenama potrebne opreme i po cijenama pogona spadaju u skuplje postupke od plamenog naštrcavanja i elektrolučnog naštrcavanja. Međutim, njima se dobivaju deblji, homogeniji slojevi s niskim udjelom oksida.

Konstruktivski preduvjeti za obradu tehničkim naštrcavanjem legura na osnovi nikla i kobalta odgovaraju zahtjevima koji su navedeni u DVS-Merkblatt 2308 – Pravila za oblikovanje dijelova i obradaka tehničkim naštrcavanjem.

U osnovi, mogu se primijeniti svi tehnički važni osnovni materijali, s time da na njima treba provesti odgovarajuće predobrade. Pretežno se prevlače čelici, željezni lijevovi, titan, titanove legure, nikal i nikove legure, kao i materijali na osnovi kobalta.

Površinu obratka prije prevlačenja treba ohrapaviti. To se obično obavlja sačmarenja prikladnim sredstvima. Površinu obratka koji se prevlači prethodno treba odmastiti. Nije potrebno određeno toplinski obrađeno stanje. U principu, prevlačiti se mogu i zakaljane i

poboljšane površine ukoliko se površina može ohrapaviti. Toplinsko-kemijski obrađene površine, ovisno o vrsti difuzijskog sloja i njegovu nastanku, ne mogu se prevlačiti ili je to prevlačenje tek uvjetno moguće.

Kod tankostijenih obradaka, a prije svega kod primjene plazmatskog naštrcavanja i visokobrzinskog plamenog naštrcavanja treba osigurati dovoljno hlađenje. Kod atmosferskog postupka, moguće je držanje temperature obratka ispod 150 °C. Zbog nanesenog sloja dolazi do povećanja mjere obratka, a povećanje ovisi o debljini sloja. Kod upotrebe plamena s automatskim posmakom mogu se proizvesti debljine sloja i konture u uskim tolerancijskim područjima. [7]

6.1.3. Legure na osnovi aluminija i bakra

Postoji širok izbor materijala na osnovi bakra i aluminija u obliku žice i praha. U našem slučaju naštrcavanje žicom nije poželjno zato što slojevi nisu popunjeni do kraja nego postoje pore između slojeva zbog kojih postoji opasnost od korozije donjih slojeva.

Praškasti dodatni materijali na osnovi bakra obrađuju se plamenim naštrcavanjem, plazmatskim ili visokobrzinskim plamenim naštrcavanjem. Pritom prvenstveno treba spomenuti bakrene praškaste materijale i praškaste materijal na osnovi bakra i aluminija. Osim toga, postoje praškasti materijali na osnovi legura CuNi te CuNiIn. Plazmatski naštrcane legure na osnovi bakra i aluminija primjenjuju se u kavitacijski opterećenim područjima (npr. pumpe). Plazmatskim naštrcavanjem obrađene CuNiIn legure odlikuju se dobrom otpornošću na trošenje kao i malom sklonošću zaribavanju. Tipična primjena je u području turbina gdje je trošenje veliko, a istovremeno se zahtijeva otpornost na oksidaciju kod niskih temperatura. Kao praškasti dodatni materijali za naštrcavanje mogu se primjenjivati tehnički čisti aluminij, kao i AlSi legure eutektičkog sastava. Praškasti aluminijски materijali koji se pretežno obrađuju plazmatskim i visokobrzinskim plamenim naštrcavanjem imaju značajnu primjenu u području zaštite od korozije i erozije u industrijskim atmosferama i morskoj vodi. AlSi legure koriste se u području turbinskih lopatica.

Konstruktivski preduvjeti za obradu tehničkim naštrcavanjem legura na osnovi aluminija i bakra odgovaraju zahtjevima koji su navedeni u DVS-Merkblatt 2308 – Pravila za oblikovanje dijelova i obradaka tehničkim naštrcavanjem.

Kao osnovni materijali u obzir dolaze svi čelici, nikal i niklove legure, željezni lijevovi, aluminijски i bakreni materijali. U posebnim slučajevima koriste se i polimerni materijali, kao i stakla s bakrenim i aluminijским slojevima.

Površinu obratka prije prevlačenja treba ohrapaviti. To se obično obavlja sačmarenja prikladnim sredstvima. Površinu obratka koji se prevlači prethodno treba odmastiti. Nije potrebno određeno toplinski obrađeno stanje. U principu, prevlačiti se mogu i zakaljane i poboljšane površine ukoliko se površina može ohrapaviti.

Debljine slojeva kod plazmatskih, a poglavito kod visokobrzinskih plamenih naštrcavanja iz ekonomskih se razloga nanose tanki slojevi. Pritom, ovisno o namjeni, područje debljine sloja još može biti opravdano. Kod upotrebe plamena s automatskim posmakom mogu se proizvesti debljine sloja i konture u uskim tolerancijskim područjima.

Otpornost na trošenje aluminijских materijala je niska. Glavno je područje primjene aluminijских materijala zaštita od korozije. Bakreni materijali pokazuju vrlo dobra klizna svojstva i dobru električnu i toplinsku vodljivost. Bakreni i aluminijски slojevi su općenito vrlo dobro obradivi odvajanjem čestica. [7]

6.2. Materijali i postupci za zaštitu od erozije tekućinom

Materijali i postupci koji se najčešće spominju za zaštitu erozije tekućinom su vezani uz toplinski naštrcane slojeve. Preciznije, postupci koji pogodni za zaštitu od erozije tekućinom mogu se povezati uz samotekuće legure, metalne karbide te metalne okside. U sljedećim poglavljima je detaljnije opisan svaki od ovih postupaka.

6.2.1. Samotekuće legure

Samotekuće legure karakterizira dobra kombinacija visoke otpornosti na trošenje (na abraziju i eroziju), s dobrom otpornošću na koroziju. Tehničko naštrcavanje samotekućih legura provodi se konvencionalnim plamenim postupcima, čiji su investicijski troškovi i troškovi procesa niski. Primjenjuje se i visokobrzinsko plameno naštrcavanje čije su prednosti ravnomjerna debljina sloja i veća brzina nanošenja.

Tehnički uspjeh samotekućih legura proizlazi iz mogućnosti utjecanja na profil svojstava promjenom odnosa količina legirnih elemenata. Rasponi variranja legirnih elemenata ovisno o željenoj primjeni razmjerno su veliki. Iz proizvodnih razloga, ove legure imaju udio željeza

koji nije neznatan, a metaloidi bor i silicij dodaju se kod proizvodnje kao ferolegure. Stoga sve samotekuće legure sadrže ugljik. [7]

Tablica 16. Uobičajeni raspon sastava ekonomski najznačajnijih NiCrBSi legura [7]

Element	Raspon sastava [%]
Krom (Cr)	0,0-30,00
Bor (B)	0,9-4,00
Silicij (Si)	0,6-4,25
Željezo (Fe)	0,2-4,75
Ugljik (C)	0,1-1,00
Nikal (Ni)	ostatak

Nikal ima visoku žilavost i dobru otpornost na koroziju. Talište čistog nikla je razmjerno visoko, ali se dodatnim legiranjem manjim količinama bora i silicija može smanjiti. Dodavanjem bora i silicija, kao i elemenata kroma, tijekom procesa prevlačenja dolazi do stvaranja tvrdih i na trošenje otpornih borida, silicida i karbida.

Konstruktivski preduvjeti za obradu tehničkim naštrecavanjem samotekućih legura odgovaraju zahtjevima koji su navedeni u DVS-Merkblatt 2308 – Pravila za oblikovanje dijelova i obradaka tehničkim naštrecavanjem.

Kao osnovni materijali mogu se primijeniti svi materijali koji su i toplinski i mehanički stabilni i čije se površine mogu ohrapabiti. Samotekuće legure se nanose na metalne materijale, pri čemu se iz financijskih razloga većinom primjenjuju konstrukcijski čelici.

Moguće područje debljine slojeva je od nekoliko 10 µm do oko 1,6 mm. Samotekuće legure se pretežno primjenjuju u područjima zahtjeva na trošenje, a najčešće se upotrebljavaju debljine slojeva od 1 mm. Postizive debljine slojeva ovise o odabranoj leguri, traženoj kvaliteti sloja i dopuštenim zaostalim naprezanjima, koja se debljinom sloja smanjuju.

Za obradu samotekućih legura, zbog niskih investicijskih troškova i niskih troškova procesa, primjenjuju se niskoenergetski konvencionalni procesi plamenog naštrecavanja. Materijal za naštrecavanje dodaje se u praškastom obliku (zrna veličine 106 µm) u plamen kojeg stvara gorivi plin/kisik. Kao gorivi plin se koristi acetilen (C_2H_2). Mogu se primijeniti i postupci visokobrzinskog plamenog naštrecavanja i plazmatska tehnika.

Primjena konvencionalnog procesa plamenog naštrcavanja, zbog niskih troškova investicije i troškova procesa, omogućuje ekonomičnu proizvodnju slojeva. Zbog mogućnosti visokog stupnja automatiziranja procesa prevlačenja, troškovi osoblja su razmjerno niski. Pozitivno je i to je postrojenje pokretljivo, tako da su pripremna vremena mala i prevlačenje je moguće na licu mjesta. Obrada rastaljivanjem, koja se kod proizvodnje nekih slojeva ne može izbjeći, povećava troškova. Na troškovnu situaciju nepovoljno utječu i razmjerno visoki troškovi praha. Posebice značajno na povećanje troškova utječu dodaci drugih tvrdih slojeva radi povećanja otpornosti na trošenje. Nedostatak stvaranja slojeva od samotekućih legura pomoću konvencionalnog procesa plamenog naštrcavanja jest u niskoj snazi plamena, a time i u niskoj snazi prevlačenja. Kod primjene visokobrzinskog postupka plamenog naštrcavanja, pri čemu općenito nema rastaljivanja, troškovi su razmjerno niži. Kod obrade rastaljivanjem mogu se primijeniti veće snage nanošenja. Općenito treba voditi računa o visokoj potrošnji procesnih plinova.

Zbog tvrdih faza koje nastaju, samotekuce legure imaju visoku otpornost na trošenje abrazijom i erozijom. Najveće značenje samotekućih legura jest u kombiniranju dobre otpornosti na trošenje i na koroziju. Ova se grupa materijala odlikuje izvrsnom zavarljivošću, otpornošću na udare i svojom čvrstoćom te imaju visoku otpornost na temperaturne promjene. [7]

6.2.2. Metalni karbidi

Toplinski naštrcane prevlake s karbidima ugrađenim u metalnu matricu su tip prevlake koji prevladava na tržištu za zaštitu od trošenja. Kemijski sastav karbida kao i njihov oblik i veličina u značajnoj mjeri određuju ponašanje kod trošenja sloja, a mogu se odabrati u skladu sa zahtjevima. Područje primjene prevlaka od metalnih karbida je široko i zahvaća sva područja zaštite od trošenja klizanjem, abrazijom i erozijom. Kao povoljan postupak za raspršivanje metalnih karbida u posljednjih nekoliko godina ustalio se postupak visokobrzinskog plamenog naštrcavanja. U najviše primjenjive kombinacije materijala danas se ubrajaju volframovi ili kromovi karbidi u kobaltnoj, niklovoj ili nikal-krom matrici. Za povišenje otpornosti na koroziju WC se ugrađuje i u CoCr. Od odlučujućeg značaja za pogodnost kod naštrcavanja te otpornost na trošenje jesu: oblik, veličina i raspored karbida kao i način proizvodnje praha. Tvrde čestice postoje u dimenzijama od 1-30 μm . Pri čemu se frakcije čestica veličine od 1-2 μm homogeno raspoređuju u sloju, te daju najbolju zaštitu od trošenja erozijom i abrazijom.

Cijena toplinski naštrecanog sloja karbida veća je od cijene metalnih ili oksidno-keramičkih prevlaka. Uzrok je tome skupa proizvodnja praha, jer se visoka kvaliteta slojeva može dobiti samo iz odgovarajućih prahova. Nadalje je kod visokobrzinskog plamenog naštrecavanja, u usporedbi s konvencionalnim plamenim ili plazmatskim naštrecavanjem, potrebna znatno veća količina gorivog plina, što značajno poskupljuje prevlaku. Istovremeno treba voditi računa o tome da se visoke kvalitete sloja mogu dobiti samo visokobrzinskim plamenim ili detonacijskim naštrecavanjem.

Za primjenu metalno-karbidnih naštrecanih slojeva kod visoko zahtjevnih površina obradaka vrijede isti konstrukcijski preduvjeti kao i kod dobivanja metalnih prevlaka (DVS-Merkblatt 2308).

Kao osnovni materijali mogu se prevlačiti svi materijali i obratci koji su osim toplinskom izloženi i mehaničkom opterećenju. Pritom se u ovu grupu ubrajaju svi tehnički upotrebljivi metali. Površinu obratka prije prevlačenja treba očistiti od ulja, masti, hrđe i nečistoća. Dodatno ohrapavljenje tokarenjem ili sačmarenjem korundnim alatima aktivira površinu i poboljšava prianjanje sloja i osnovnog materijala. Nisu potrebni prianjajući međuslojevi.

Najbolja kvaliteta slojeva u pogledu tvrdoće, otpornosti na trošenje, čvrstoće prianjanja i smanjene poroznosti dobiva se kod visokobrzinskog plamenog naštrecavanja.

Debljine slojeva koje se dobivaju toplinskim naštrecavanjem, ovisno o dodatnom materijalu za naštrecavanje i postupku naštrecavanja, imaju tolerancije $\pm 20 \mu\text{m}$. Ipak, prilagođeno vođenje procesa u pojedinačnim slučajevima omogućuje ispunjenje znatno manjih tolerancija debljine sloja od $\pm 5 \mu\text{m}$. Preduvjet je automatiziran proces prevlačenja.

Ovisno o odabiru materijala, postupku i naknadnoj obradi, kod prevlačenja se dobivaju odlične karakteristike u području trošenja abrazijom, erozijom i klizanjem. Induciranjem zaostalih tlačnih naprezanja u sloju značajno se poboljšava otpornost na trošenje. Slojevi karbida mogu se nanijeti tako da postignu zadovoljavajuću žilavost kako bi bili u stanju podnijeti udarce bez oštećenja. [7]

6.2.3. Metalni oksidi

U odnosu na druge materijale, oksidno-keramički slojevi zbog specifičnih svojstava nude niz potencijalnih prednosti za industrijsku uporabu. Tako keramički materijali u usporedbi sa metalima često imaju bolju otpornost na koroziju, oksidaciju i trošenje. Odlična kemijska

otpornost oksidnih vrsta keramika na djelovanje niza agresivnih tekućina omogućuje primjenu u zaštiti od trošenja u industriji pumpi i armatura. Proces se provlačenja, kao i svi postupci toplinskog naštrcavanja, odvija rastaljivanjem praškastih oksidno-keramičkih dodatnih materijala za naštrcavanje izvorom topline i nanošenjem rastaljenih tekućih čestica na površinu obratka.

Proizvodnja slojeva iz metalnih oksida toplinskim naštrcavanjem u pravilu se odvija plamenim naštrcavanjem praha ili plazmatskim naštrcavanjem. Metalni se oksidi općenito odlikuju vrlo visokim talištima, zbog čega se postupci njihova naštrcavanja moraju odvijati uz uporabu izvora topline visoke temperature.

Tablica 17. Glavna područja primjene oksidno-keramičkih slojeva [7]

Materijal	Područje primjene
Al_2O_3	zaštita od trošenja, električna izolacija
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$	zaštita od trošenja
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$	zaštita od trošenja, električna izolacija
Cr_2O_3	zaštita od trošenja, zaštita od korozije
$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--TiO}_2$	zaštita od trošenja, niski faktor trenja
TiO_2	zaštita od trošenja, niska električna vodljivost
$\text{TiO}_2\text{--Cr}_2\text{O}_3$	zaštita od trošenja i korozije, toplinska postojanost
$\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$	toplinska izolacija, otpornost na visoke temperature, otpornost na eroziju
$\text{ZrO}_2\text{--TiO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$	otpornost na koroziju zbog visoke temperature i na koroziju zbog vrućih plinova, otpornost na promjene temperature, toplinska izolacija
$\text{ZrO}_2\text{--MgO}$	toplinska izolacija, otpornost na abraziju

Za primjenu oksidno-keramičkih materijala i slojeva na visoko zahtjevnim površinama obradaka vrijede konstruktivski preduvjeti kao i za proizvodnju metalnih ili metalno karbidnih slojeva (DVS-Merkblatt 2308).

Troškovi proizvodnje oksidno-keramičkih slojeva su uvijek manji od troškova proizvodnje metalnih slojeva ili slojeva od metalnih karbida. Na troškovnu situaciju loš utjecaj ima primjena plazmatskog naštrcavanja kod nanošenja oksidno-keramičkih slojeva. Plazmatsko naštrcavanje uvjetuje relativno skupu tehniku koja se isplati tek na velikom broju komada.

Plameno naštrcavanje praha je, naprotiv, jednostavan postupak kod kojega je nedostatak niski stupanj proizvodnosti kod nanošenja prevlake.

Kao osnovni materijali mogu se koristiti svi materijali koji se postupkom toplinskog naštrcavanja mogu prevlačiti metalnim ili metalno-karbidnim materijalima. To su u pravilu gotovo svi tehnički upotrebljivi metalni materijali koji imaju dovoljnu mehaničku i toplinsku stabilnost. Toplinski obrađeno stanje treba odgovarati željenom toplinski obrađenom stanju gotovog obratka. Toplinsku obradu obradaka koji se prevlače u pravilu treba izbjeći. Nitrirane ili pouglijčene površine obradaka ne mogu se prevlačiti.

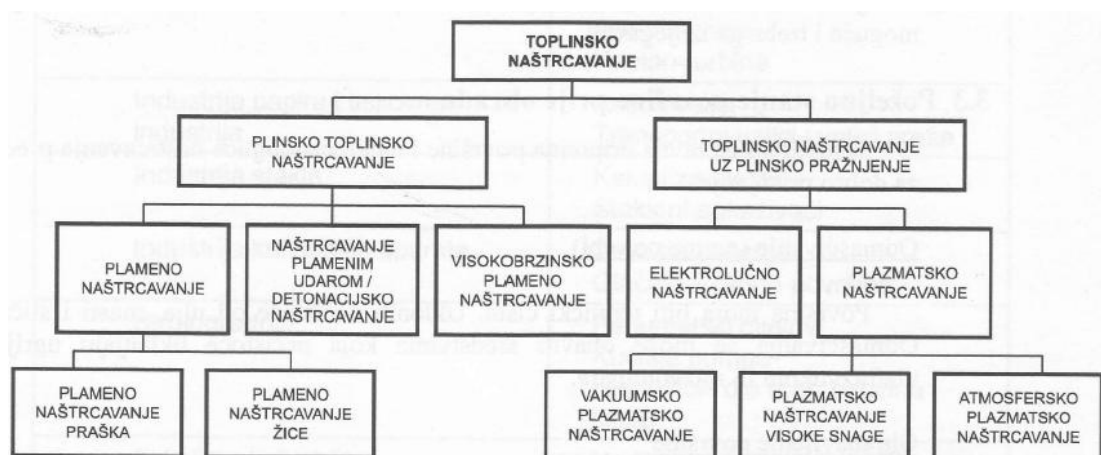
Površina obratka koji se prevlači u pravilu se čisti i aktivira sačmarenjem. Nakon toga se nanosi metalni, prijanjajući međusloj na koji se naštrcava oksidno-keramički sloj. Kao međuslojevi za bolje prijanjanje većinom se primjenjuju nikal-aluminijske legure ili nikal-krom legure. Ti se međuslojevi često nanose da bi se površine koje se prevlače zaštitile od korozije jer oksidno-keramički pokrivni slojevi zbog svoje poroznosti uglavnom pružaju razmjerno niski stupanj zaštite od korozije.

Postizivo područje debljina slojeva nalazi se u redu veličina od oko 10 μm do nekoliko milimetara. Podesive debljine sloja pritom ovise o primijenjenom dodatnom materijalu za naštrcavanje kao i o primijenjenom postupku naštrcavanja i vođenju procesa. Tehnički opravdano područje debljine slojeva pritom ovisi o pojedinom profilu zahtjeva. Kod slojeva za toplinsku zaštitu, primjerice, česti je zahtjev najdeblji mogući sloj, a u slučaju od trošenja dovoljan je tanki sloj.

Zbog postojeće visoke kemijske energije vezanja kao i kemijske otpornosti, toplinski naštrcani oksidno-keramički materijali imaju izuzetna svojstva otpornosti na trošenje, i to trošenje klizanjem, abrazijom i erozijom. U slučaju zahzjeva na otpornost na udarno opterećenje keramičkih materijala, treba imati na umu da je njihova otpornost na stvaranje napuklina i posebice prema širenju napuklina vrlo niska. [7]

6.3. Principi postupaka naštrecavanja

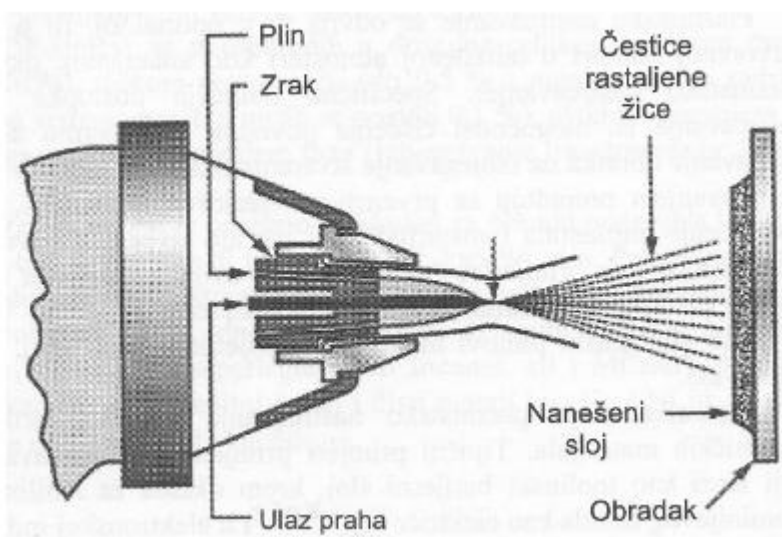
Podjela postupaka slijedi iz DIN 32539, prema vrsti dodataka za naštrecavanje, vrsti izrade ili prema vrsti nositelja energije.



Slika 32. Podjela najvažnijih postupaka naštrecavanja prema vrsti nositelja energije [7]

6.3.1. Plameno naštrecavanje

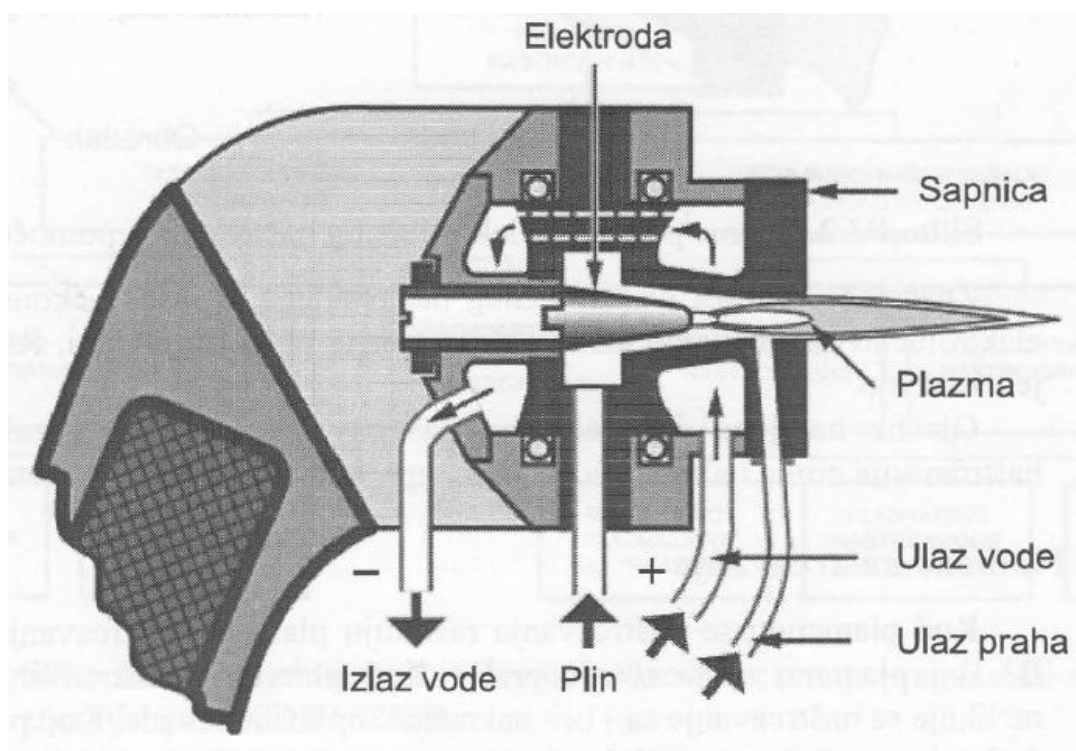
Kod plamenog se naštrecavanja razlikuju plameno naštrecavanje pomoću žice i plameno naštrecavanje praha. Nama je u našem slučaju interesantno plameno naštrecavanje praha. Kod plamenog naštrecavanja praha, osim toga, razlikuje se naštrecavanje sa ili bez naknadne toplinske obrade. Sam postupak se provodi tako da se dodatni materijal rastaljuje plamenom s gorivim plinom i kisikom, a na površinu koja se prevlači naštrecava se putem ekspanzije procesnog plina ili uz pomoć dodatnih plinova. Kao gorivi plinovi koriste se acetilen, propan i vodik. [7]



Slika 33. Shema plamenog naštrecavanja prahom [7]

6.3.2. Plazmatsko naštrcavanje

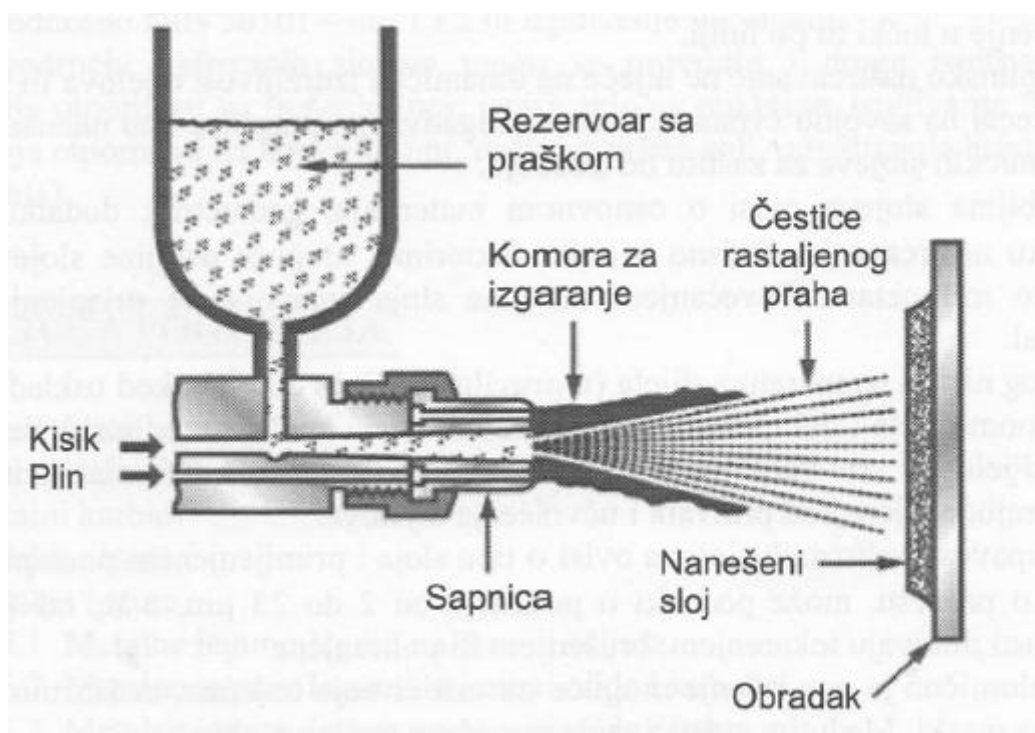
Kod plazmatskog se naštrcavanja između elektrode i mlaznice, koja je istovremeno i anoda, prolaskom struje pali električni luk. Kroz taj električni luk struji plazmatski plin i ionizira se. Temperature u plazmi iznose do 20000 K. Prah za naštrcavanje se ubrizgava u plazmu i tamo se velikim dijelom ili potpuno rastaljuje. Plazmatsko naštrcavanje se odvija ili u normalnoj ili u zaštitnoj atmosferi ili u zatvorenoj komori u određenoj atmosferi kod smanjenog okolnog tlaka (vakuumsko plazmatsko naštrcavanje). [7]



Slika 34. Shema plazmatskog naštrcavanja [7]

6.3.3. Visokobrzinsko plameno naštrcavanje

Visokobrzinsko plameno naštrcavanje se često ubraja u plamena naštrcavanja jer se i kod njega koristi princip izgaranja smjese gorivo-kisik kao izvora toplinske energije, pri čemu se čestice praha ugrijavaju i ubrzavaju u smjeru površine koja se prevlači. Značajna razlika u odnosu na plameno naštrcavanje su višestruko veće brzine plamena i čestica (u usporedbi s plamenim naštrcavanjem, brzina čestica je 4 do 8 puta veća). Proces izgaranja između goriva i kisika odvija se pod povišenim tlakom. Kao gorivo se mogu koristiti propan (C_3H_8), propilen (C_3H_6), vodik, acetilen, zemni plin i kerozin. Izlazni vrući mlaz plina je nadzvučne brzine. [7]



Slika 35. Shema postupka visokobrzinskog plamenog naštrcavanja praha [7]

7. Analiza trošenja mlaznica

Analizirati će se tri vrste mlaznica, i to: mlaznica od bakrene legure, mlaznica od aluminijske legure i mlaznica od polikarbonata.

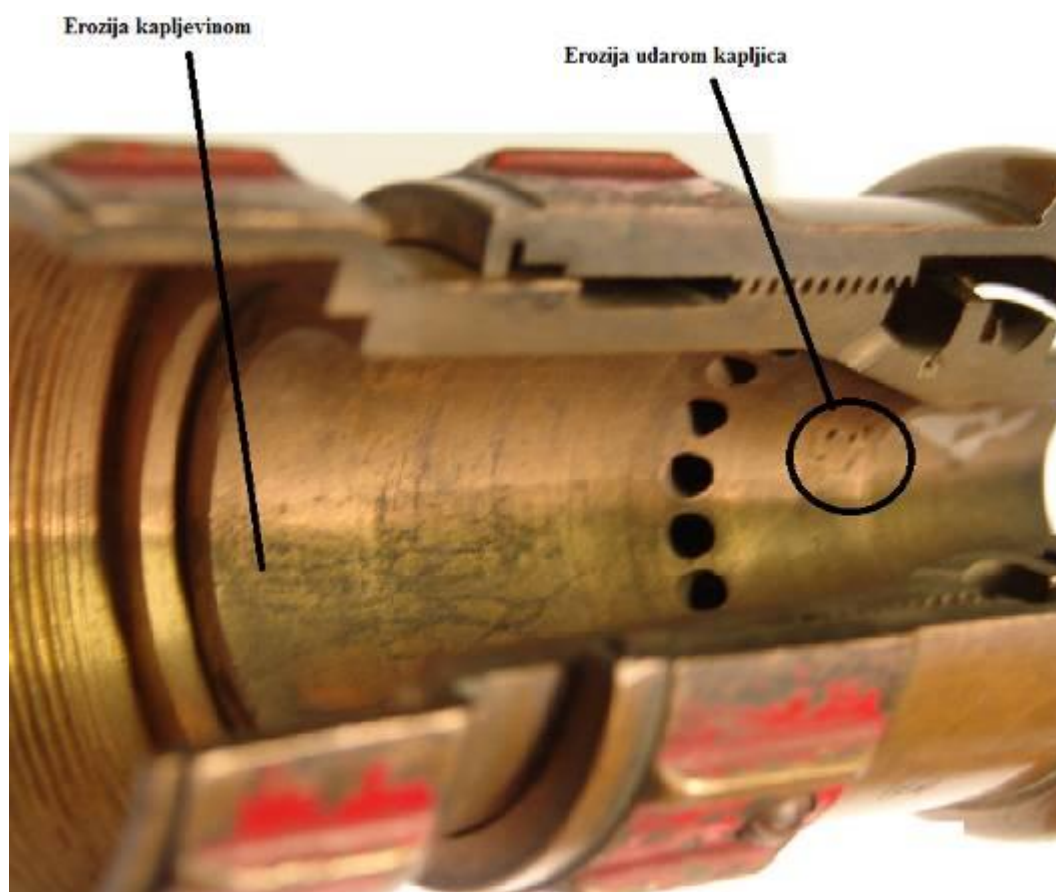
7.1. Analiza mlaznice od bakrene legure

Kao uzorak za promatranje u ovom poglavlju je kombinirana bakrena mlaznica koja je korištena u Vatrogasnoj školi u Zagrebu. Podrobnije se promatra dio za regulaciju naznačen na Slici. 36.



Slika 36. Kombinirana bakrena mlaznica

Nakon što se već spomenuta mlaznica izrezala, najzanimljiviji dio nam je bio dio za regulaciju jer su na njemu dobro vidljiva mjesta trošenja. Tako su na istom uzorku vidljivi tragovi trošenja erozije kapljevinom i tragovi trošenja erozije udarom kapljica. Slika 37. prikazuje spomenute mehanizme trošenja. Erozijska kapljevinom je vidljiva kao vodoravne brazde koje su nastale uslijed strujanja vode. Erozijska udarom kapljica je jasno vidljiva na Slici. 38 kao rupice koje su nastale udarom sitnih kapljica uslijed strujanja vode pod velikim pritiskom.



Slika 37. Prikaz trošenja erozijom na promatranoj mlaznici od bakrene legure



Slika 38. Prikaz erozije udara kapljicama na promatranoj mlaznici od bakrene legure

7.2. Analiza mlaznice od aluminijske legure

Slijedeća mlaznica koja je promatrana je mlaznica sa zatvaračem nastala od aluminijske legure. Ova mlaznica je također korištena u Vatrogasnoj školi u Zagrebu. Kao uzorci za promatranje uzeti su dijelovi koji su najviše izloženi trošenju erozijom kapljevnom a to su nastavak i usnac. Slika 39. Prikazuje promatrane dijelove.



Slika 39. Promatrana aluminijska mlaznica sa zatvaračem

Odabrani uzorci su izrezani kako bi mogli biti detaljno promatrani. Promatranjem usnaca, vidljivo je da je došlo do oštećenja na samom kraju uzorka. Tragovi trošenja upućuju na mehanizam trošenja erozije kapljevnom. Na Slici 40. su jasno vidljivi nastali tragovi trošenja. Promatranjem nastavka ove mlaznice, također su vidljivi tragovi trošenja, ali je teško doći do zaključka da li su ti tragovi nastali uslijed erozije kapljevnom ili uslijed korozije. Promatrajući Sliku 41. dolazi se do zaključka da su tragovi trošenja nastali korodiranjem promatranog dijela i da su bijeli tragovi naslage koje su nastale taloženjem vode na stjenke mlaznice.



Slika 40. Prikaz erozije kapljevinom na usnacu aluminijske mlaznice



Slika 41. Prikaz erozije kapljevinom na nastavku aluminijske mlaznice

7.3. Analiza mlaznice od polikarbonata

Zadnja mlaznica koja se promatra je također korištena u Vatrogasnoj školi u Zagrebu. Prvotno se mislilo da je ona napravljena od poliamida, ali se postupkom karakterizacije materijala došlo do dokaza da je ona ipak od polikarbonata. Dokazi o tome detaljno su dani u slijedećem poglavlju.



Slika 42. Promatrana kombinirana mlaznica od polikarbonata

Polikarbonatana mlaznica je prerezana kako bi se mogla što bolje promatrati. Detaljnim promatranjem vidljivi su lagani tragovi koji su nastali uslijed mehanizma trošenja erozije kapljevinom. Slika 43. i Slika 44. prikazuju oštećenja na mlaznici koja su nastala uslijed prolaska vode i koja se mogu pripisati eroziji kapljevinom.



Slika 43. Prikaz trošenja erozijom kapljevine na promatranoj mlaznici od poliamida



Slika 44. Prikaz erozije kapljevinom na mlaznici od poliamida

8. Analiza odabranih uzoraka

Od svake mlaznice uzeti su uzorci na kojima su vidljivi tragovi trošenja. Svaki od uzoraka ispitivan je detaljno. Kao prvo, postojala je dvojba oko materijala od kojeg je izgrađena plastomerna mlaznica. U literaturi se navodi kao najčešći materijal poliamid, a pošto u to nismo bili sigurni podvrgnuli smo uzorak te mlaznice ispitivanju karakterizacijom materijala. Nadalje, svaki od uzoraka je podvrgnut pregledu na SEM-u (skenirajućem elektronskom mikroskopu).

8.1. Karakterizacija materijala

Karakterizacija materijala je niz jednostavnih metoda koje služe za određivanje polimerne osnove ispitivanog materijala. U ovom diplomskom radu za dokazivanje polimernog materijala koristile su se metode ispitivanja materijala gorenjem, određivanje materijala pomoću tališta, i određivanje materijala probom otapanjem. Svaka metoda detaljnije je opisana u sljedećim poglavljima.

8.1.1. Ispitivanje materijala gorenjem

Ispitivanje materijala gorenjem se odvija na taj način da se najprije naprave tanke strugotine materijala. Te iste strugotine se dalje zagrijavaju na otvorenom plamenu u keramičkoj kadici i gledaju se reakcije i ponašanje materijala. Karakteristike koje se posebno ponašaju su: boja plamena, razvitak čađe, samogasivost, pH vrijednost gorenja i mirisi.

Kako bi postupak bio kvalitetno odrađen postupalo se po već spomenutim uputama. Tako su najprije napravljene tanke strugotine prikazane na Slici 45.



Slika 45. Strugotine ispitivanog materijala

Nadalje, strugotine su stavljene u keramičku kadicu za zagrijavanje kako je prikazano na Slici 46.



Slika 46. Strugotine materijala spremne za zagrijavanje

Uzorak se zagrijavao iznad otvorenog plamena i pažljivo su promatrane njegove reakcije. Zapažanja su slijedeća: Uzorak se tali, gori svjetlećim plamenom, čađi, samogasiv je, ima lagano kiselu reakciju para ($\text{pH}=6$), i miris je slab i podsjeća na fenol. Nakon što je uzorak

izgorio, uočeni su bijeli ostaci prikazani na Slici 48. Ostaci nakon gorenja potječu od ojačala koja su umetnuta u osnovni materijal. Svojstva, zapažanja i rezultati koji su dobiveni uspoređeni su sa Tablicom 18. i upućuju da se radi o materijalu sa polimernom osnovom od polikarbonata (PC).



Slika 47. Zagrijavanje materijala otvorenim plamenom

Tablica 18. Svojstva i ponašanje polikarbonata kod zagrijavanja

Oznaka	Ponašanje pri zagrijavanju	Gorenje pri malom plamenu	Miris para	Gustoća	Temperaturni interval taljenja
Polikarbonat	Tali se, viskozan, bezbojan, raspada se, smeđ, kisela reakcija para	Gori u plamenu, gasi se izvan plamena, svjetleće gori, čađi, mjehurići, pougljenjuje	Najprije slab zatim po fenolu	1,20-1,22	220-230 °C



Slika 48. Ostaci ojačala nakon izgaranja

8.1.2. Ispitivanje tališta materijala

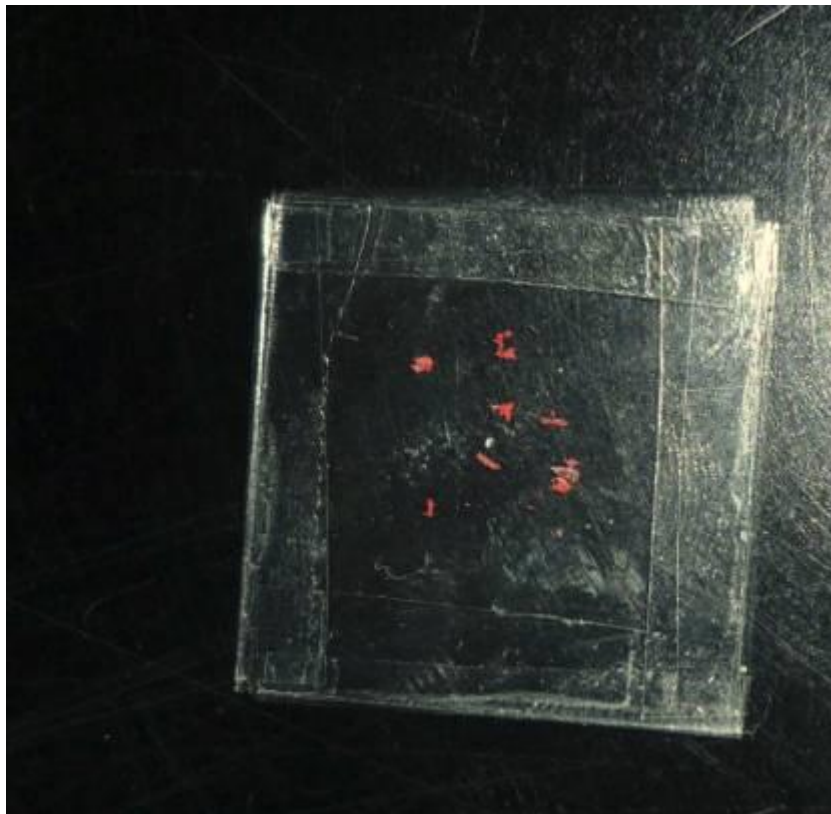
Druga metoda kojom se može izvesti karakterizacija materijala je pomoću tališta materijala. Metoda se izvodi prema normi ISO 3146.

Tanke strugotine materijala stavljene su između dvaju mikroskopskih stakalaca i međusobno su zalijepljena kako je prikazano Slikom 50. Uzorak sa stakalcima se stavlja na grijače mikroskopa. Na termometru se promatra temperatura, a na objektivu se gleda ponašanje materijala. Interval tališta koji je određen za ovaj uzorak je 185-195 °C.

Temperaturni interval tališta je vrlo blizu podacima iz Tablice 18. te se može zaključiti da se radi o polikarbonatu.



Slika 49. Polarizacijski mikroskop sa grijačima i termometrom



Slika 50. Ispitni uzorak

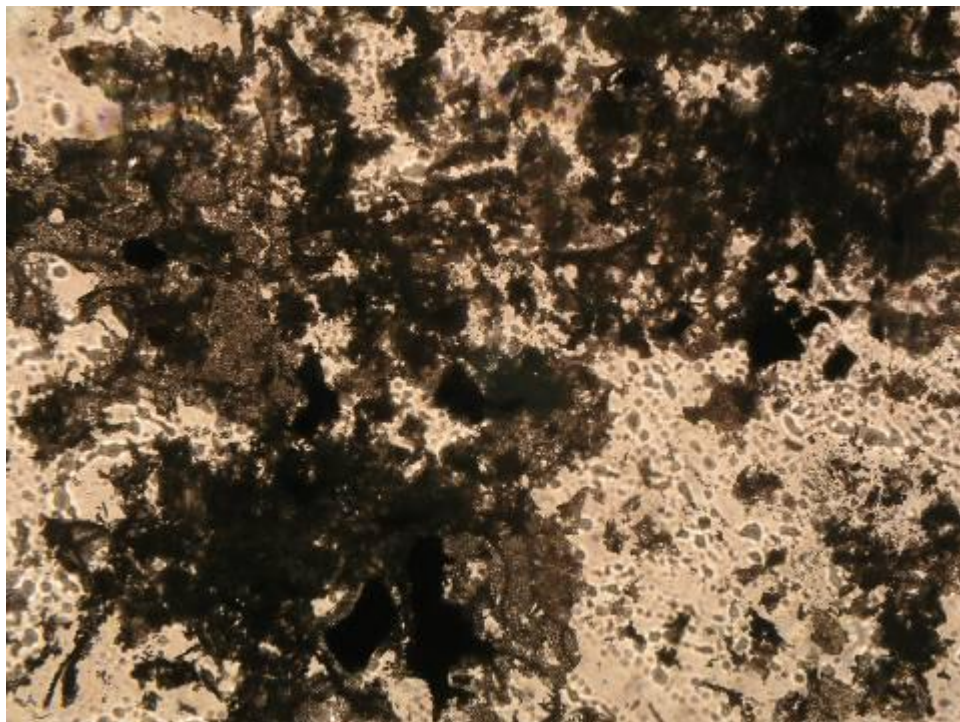


Slika 51. Zagrijavanje ispitnog uzorka

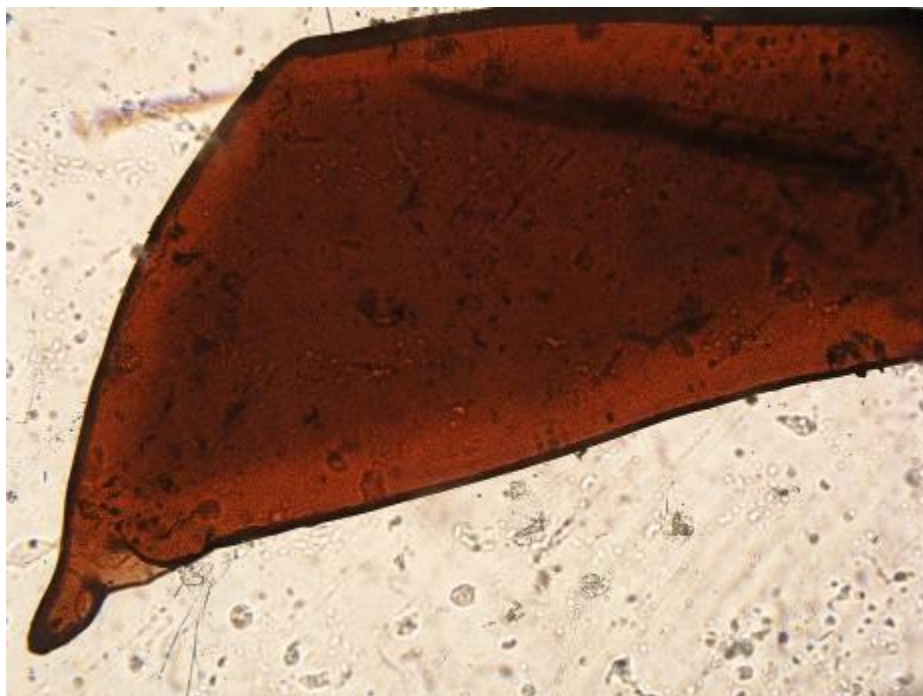
Na polarizacijskom mikroskopu Olympus BX51 promatrani su uzorci nakon spaljivanja i nakon taljenja. Slika 53. i Slika 54. Prikazuju uzorke uz povećanje od 100 puta.



Slika 52. Polarizacijski mikroskop Olympus BX51



Slika 53. Uzorak nakon spaljivanja uz povećanje od 100x



Slika 54. Uzorak nakon taljenja uz povećanje od 100x

8.1.3. Karakterizacija materijala probom otapanjem

Kako bi bili sigurni da je naš materijal polikarbonat odrađena je i metoda karakterizacije materijala proba otapanjem. U literaturi se navodi da je polikarbonat topljiv samo u organskom otapalu zvanom diklormetan.

Uzorak je stavljen u posudicu u kojoj se nalazio diklormetan. Rezultati ove metode su da se uzorak potpuno otopio u organskom otapalu diklormetanu.

Stoga se nakon karakterizacije materijala može zaključiti da se sigurno radi o polikarbonatnom materijalu i da je pretpostavka, da je mlaznica izrađena od poliamida, bila pogrešna.

8.2. Pregled uzoraka na SEM-u (skenirajućem elektronskom mikroskopu)

SEM je mikroskopska tehnika gdje snop elektrona skenira po uzorku i izaziva niz reakcija s atomima na površini koju skenira. Detektori postavljeni u komori mikroskopa hvataju te elektrone i formiraju sliku na ekranu. [8]

Karakteristike SEM-a:

Napon: 1-30 kV

Rezolucija : do 3,0nm (kod 30kV)

Povećanja: od 5:1 do 500.000:1



Slika 55. SEM uređaj

Dijelovi SEM-a sa Slike 55.:

1. Kolona (izvor elektrona, aperture za formiranje elektronske zrake)
2. Sustav za vakuum (pumpa, ventili, cijevi)
3. Komora s nosačem uzorka i detektorima
4. Stolić sa sustavima za upravljanje i prikazom slike
5. Dodatna oprema (detektori)

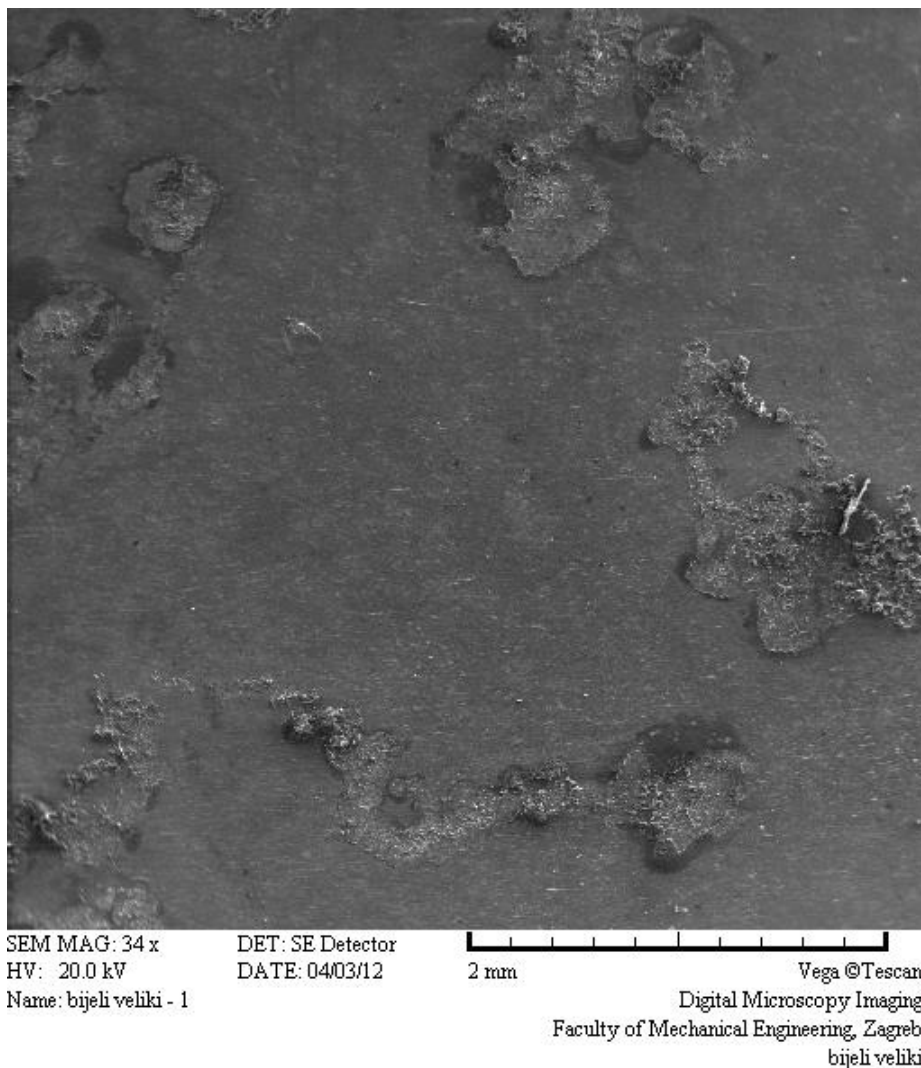


Slika 56. Događaji na površini uzorka

Metoda SEM-a koja se koristila kod ispitivanja uzoraka je EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) koja ima funkciju da mjeri energiju rendgenskih zraka. Detektor je dioda koja pretvara energiju rendgenskih zrakau električni naboj proporcionalan energiji tih x-zraka. Brza pretvorba i mjerenje se odvija u realnom vremenu. Ovom metodom se radi mikroanaliza kemijskog sastava. [8]

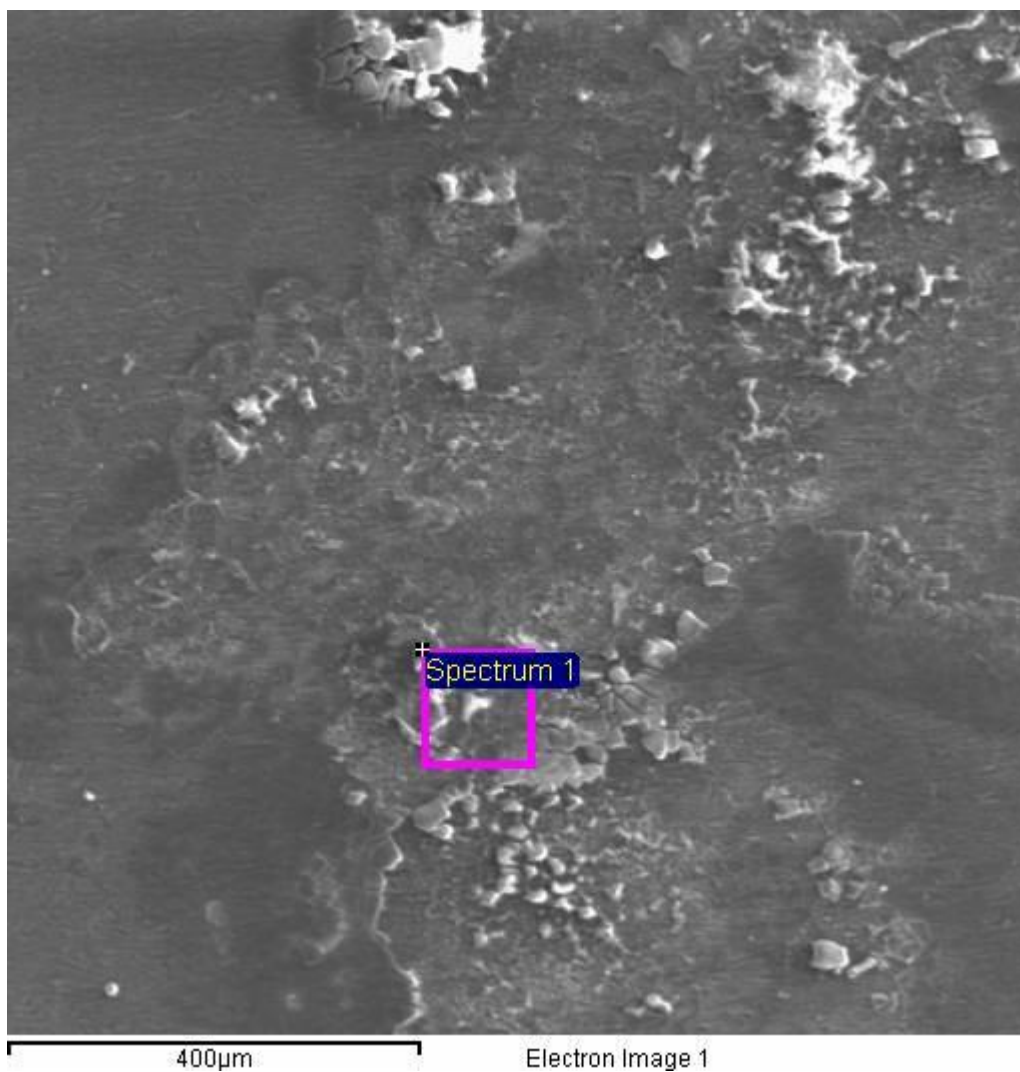
8.2.1. Pregled aluminijske mlaznice na SEM-u

Kao dijelovi za ispitivanje aluminijske mlaznice korišteni su dijelovi prikazani na Slici 41. i na Slici 42. Od već spomenutih dijelova su izrezani manji uzorci kako bi se mogli koristiti na skenirajućem mikroskopu. Uzorci su pričvršćeni vijkom na držače koji se stavljaju u komoru za ispitivanje. Nakon što su napravljeni svi preduvjeti da se krene u skeniranje oštećenih uzoraka, isto je i izvršeno.

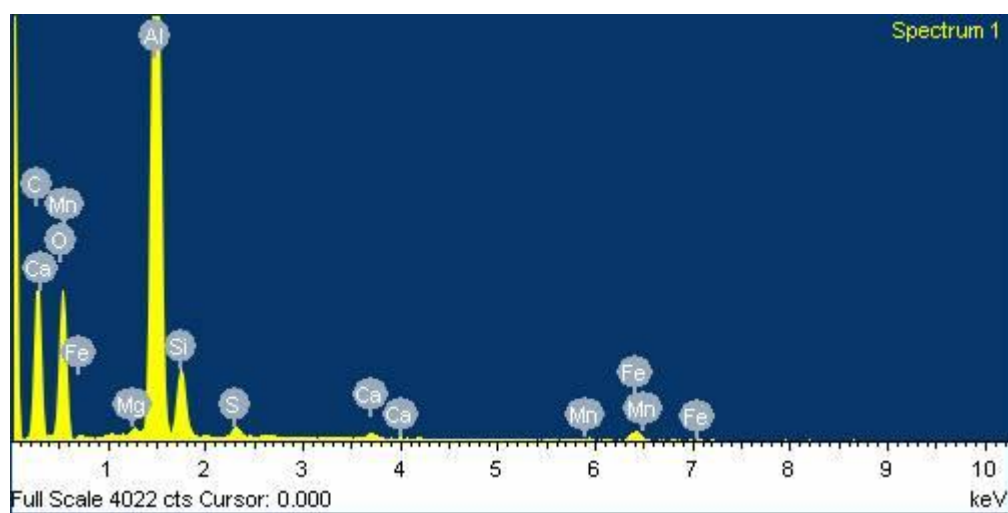


Slika 57. Prikaz aluminijskog uzorka sa Slike 42. skeniranog na SEM-u

Slika 57. prikazuje skeniranu površinu aluminijskog uzorka sa Slike 42. Na skeniranoj površini nema vidljivih oštećenja, ali su vidljive naslage koje su nastale prolaskom vode. Kako je EDS metodom na SEM-u moguće odrediti kemijski sastav površine, isti je i izvršen za zanimljivo područje vidljive naslage kako je prikazano Slikom 58. Utvrđivanjem kemijskog sastava koji je vidljiv na Slici 59. i naveden u Tablici 19. dolazi se do zaključka da su se na površini mlaznice nataložile naslage kalcijeva karbonata (CaCO_3).



Slika 58. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku

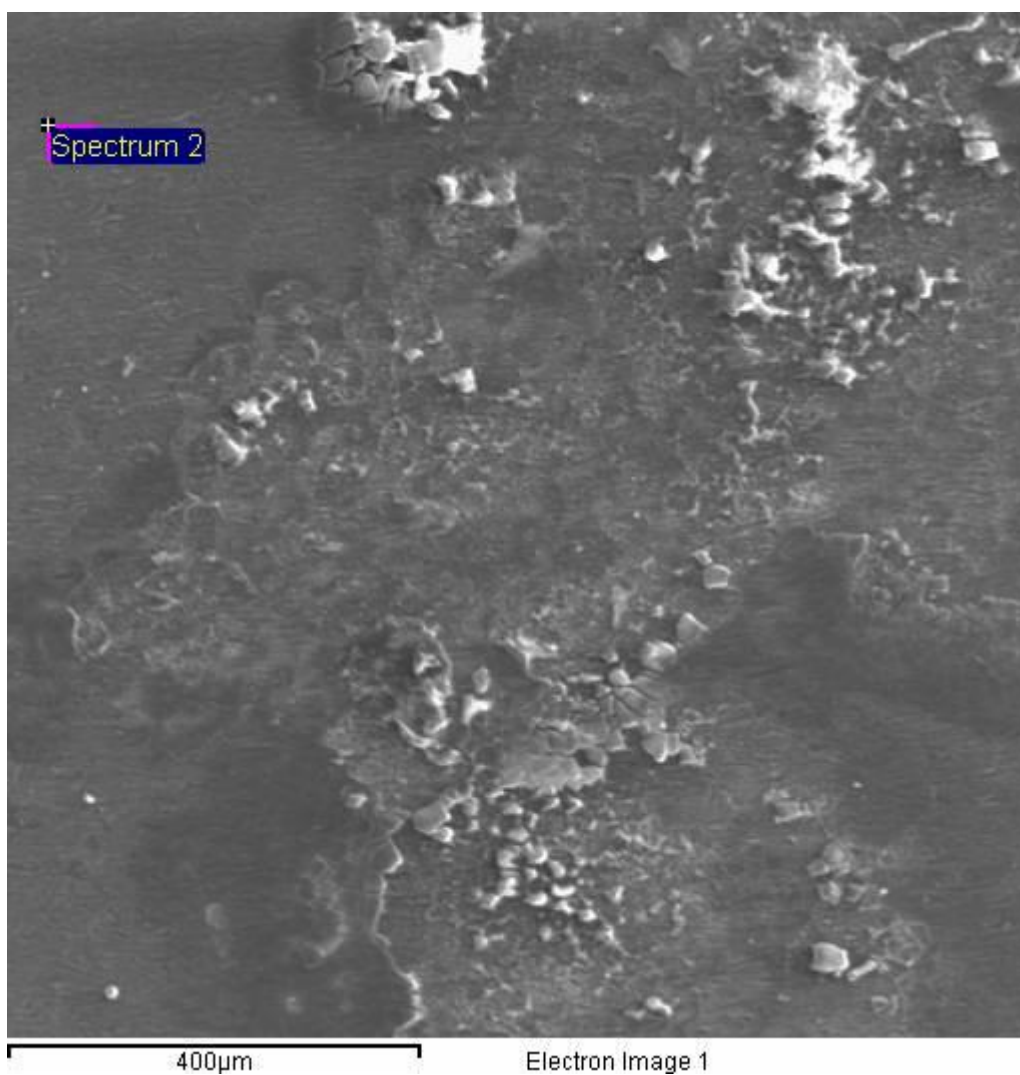


Slika 59. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 58.

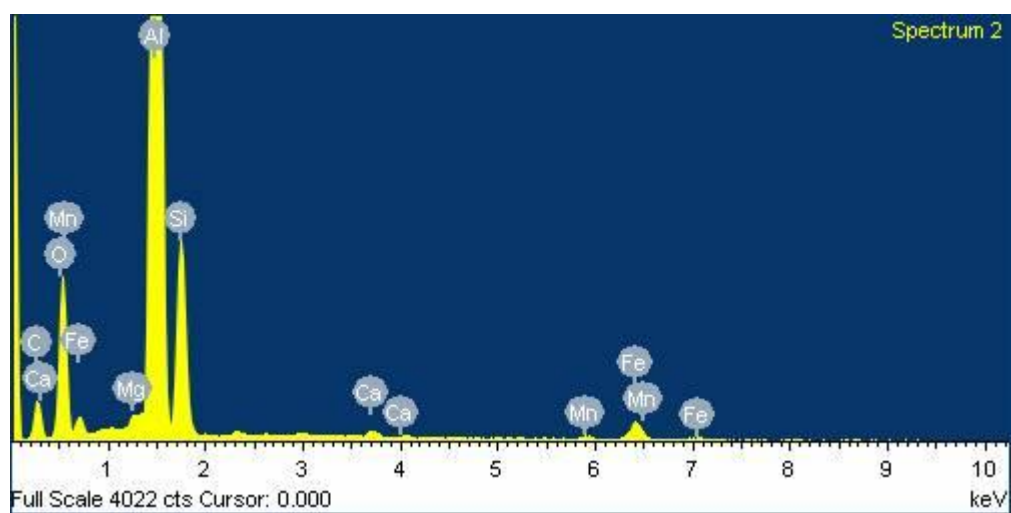
Tablica 19. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 58.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	44.33	57.11
O	29.46	28.49
Mg	0.19	0.12
Al	21.03	12.06
Si	2.65	1.46
S	0.40	0.19
Ca	0.25	0.10
Mn	0.28	0.08
Fe	1.41	0.39
Ukupno	100.00	100.00

Tablica 19. prikazuje sve kemijske elemente od kojih se sastoji alumijaska mlaznica. Vidljivo je da je Al osnovni element, dok je glavni legirni element Si, a C i O potječu iz naslaga nastalih na površini mlaznice.



Slika 60. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku



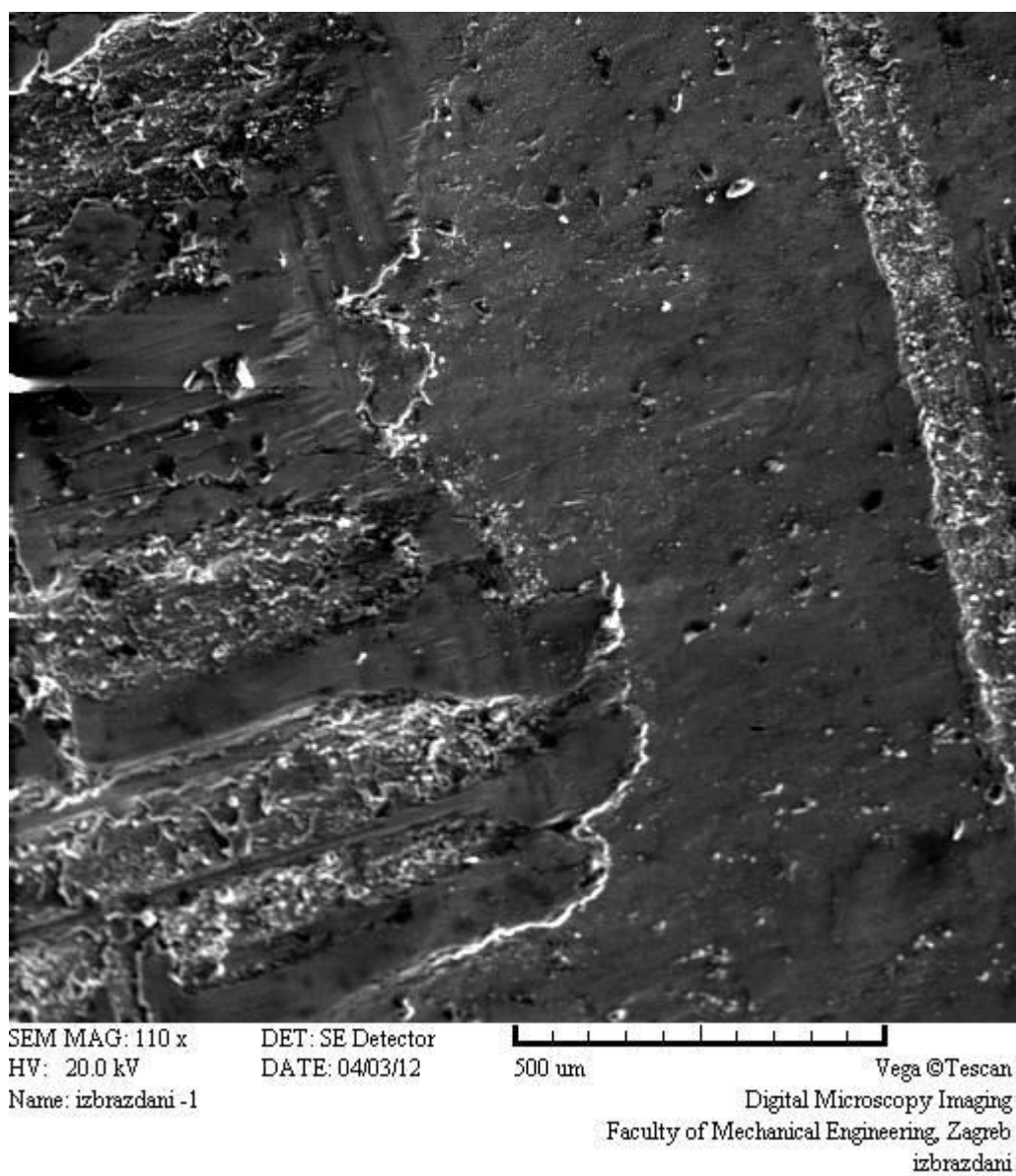
Slika 61. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 60.

Tablica 20. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 58.

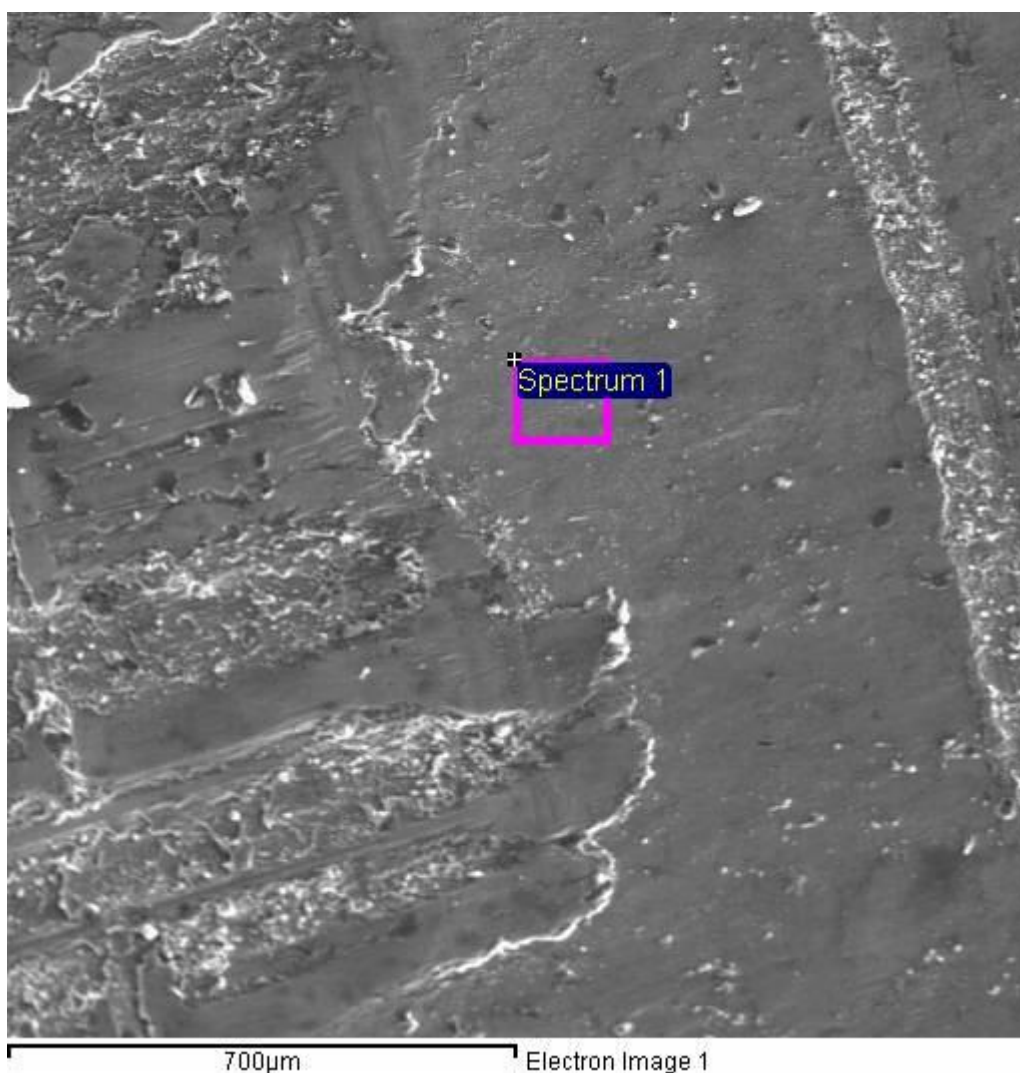
Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	19.13	31.07
O	23.69	28.88
Mg	0.27	0.22
Al	45.25	32.71
Si	8.73	6.06
Ca	0.30	0.15
Mn	0.45	0.16
Fe	2.18	0.76
Ukupno	100.00	100.00

Utvrđivanje kemijskog sastava učinjeno je i u području izvan nastalih naslaga vidljivog na Slici 60. Slika 61. i Tablica 20. prikazuju kemijski sastav na odabranom području iz kojeg je vidljivo da je Al osnovni element, dok je glavni legirni element za poboljšavanje svojstava korist Si, a C i O potječu iz naslaga nastalih na površini mlaznice.

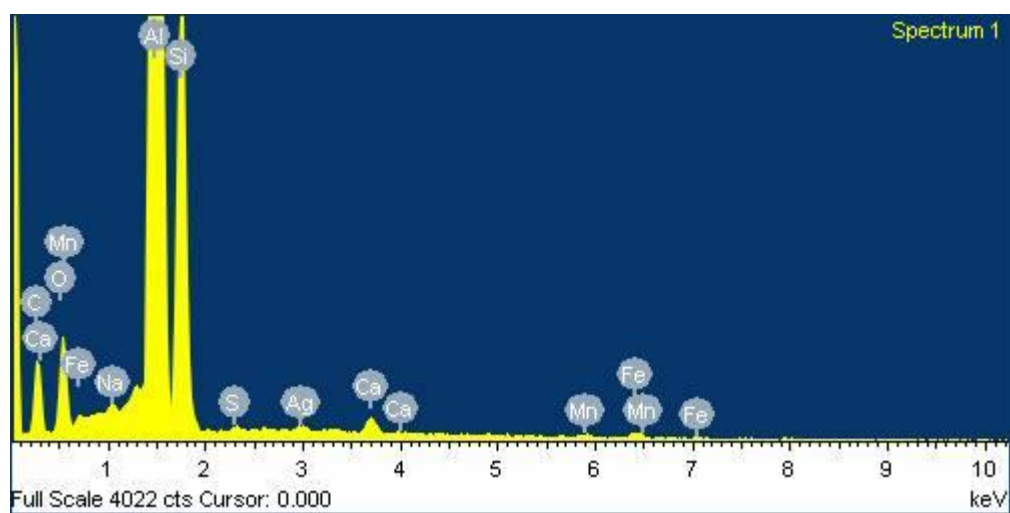
Slika 57. prikazuje skeniranu površinu aluminijskog uzorka sa Slike 41. Na skeniranoj površini jasno su vidljiva oštećenja nastala erozijom kapljevina. EDS metodom na SEM-u određen je kemijski sastav površine, isti je i izvršen za zanimljivo područje kako je prikazano Slikom 63. i Slikom 65. Kemijski sastav dobiven već spomenutom metodom naveden je na Slikama 64. i 66. te Tablicama 21. i 22.



Slika 62. Prikaz aluminijskog uzorka sa Slike 41. skeniranog na SEM-u



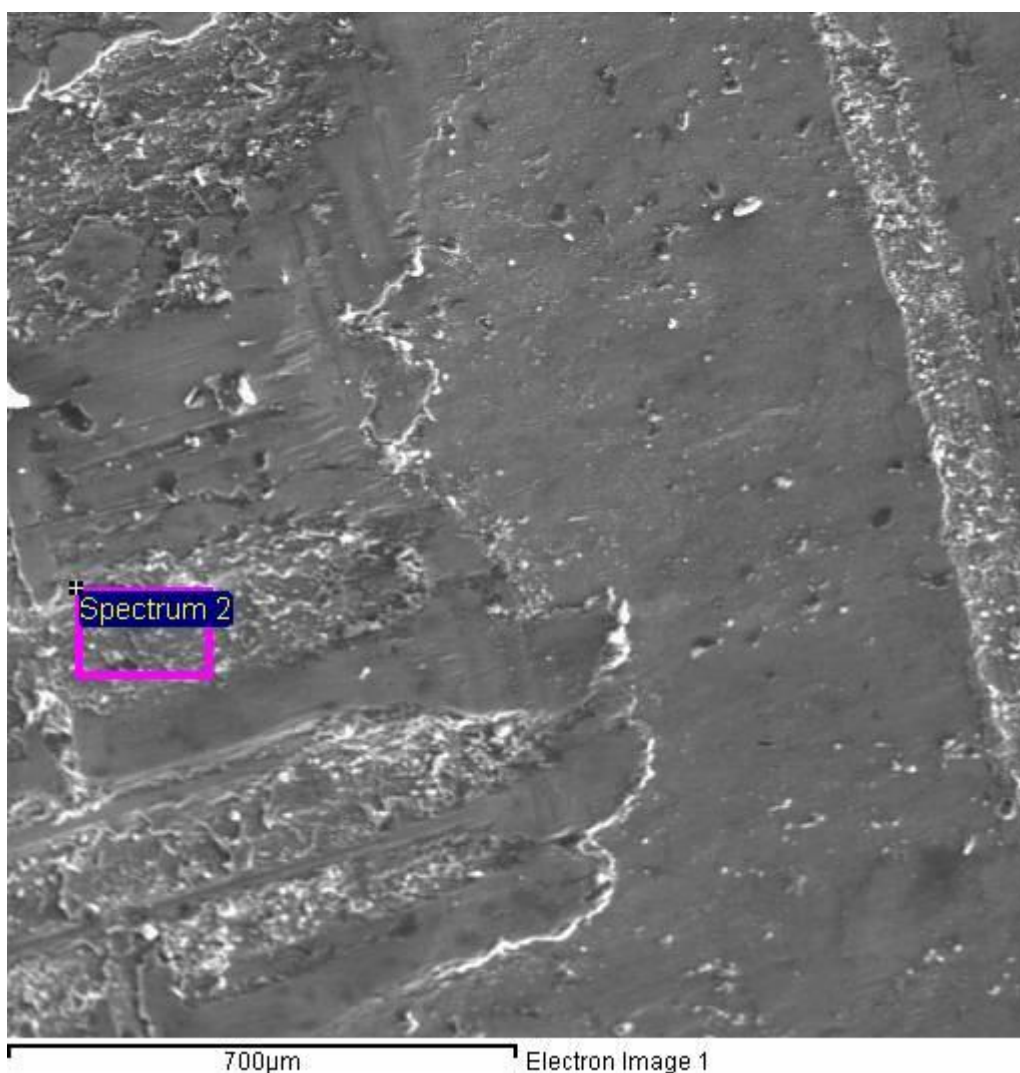
Slika 63. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku



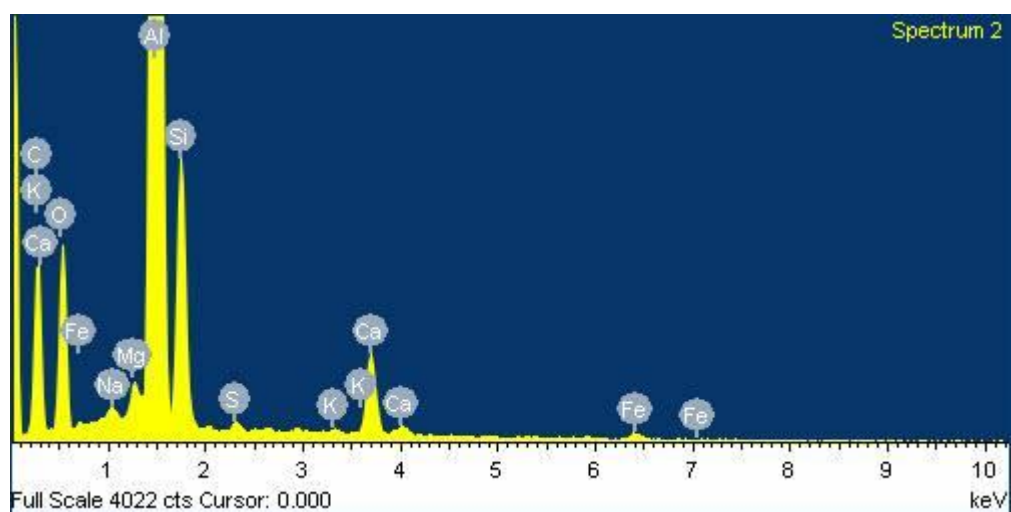
Slika 64. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 63.

Tablica 21. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 58.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	25.07	41.12
O	10.12	12.46
Na	0.17	0.14
Al	51.10	37.31
Si	11.96	8.39
S	0.13	0.08
Ca	0.46	0.23
Mn	0.21	0.07
Fe	0,38	0.13
Ag	0.40	0.07
Ukupno	100.00	100.00



Slika 65. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na aluminijskom uzorku



Slika 66. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 65.

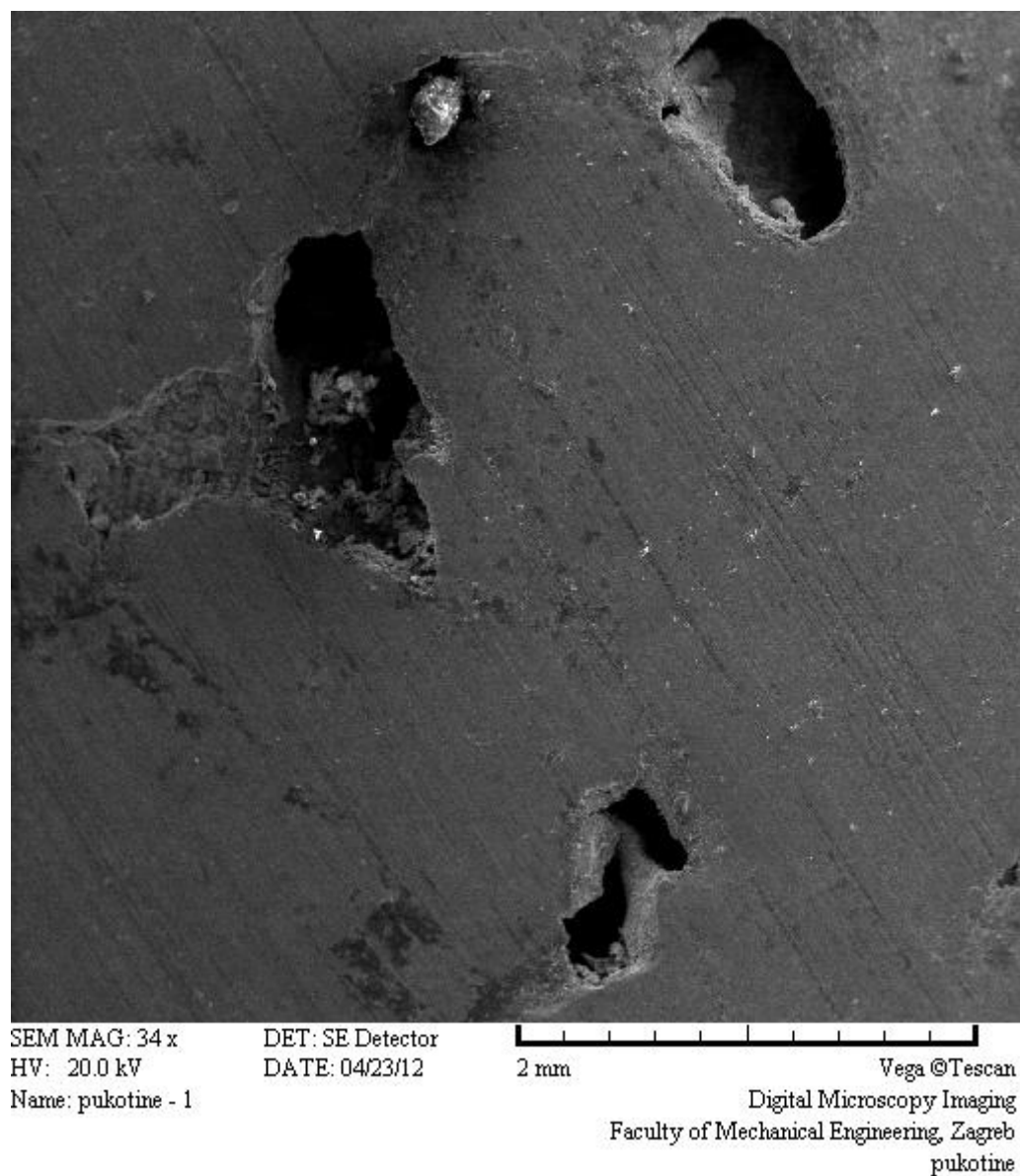
Tabela 22. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 65.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	37.72	53.35
O	18.66	19.81
Mg	0.17	0.13
Na	0.39	0.27
Al	35.15	22.13
Si	5.36	3.24
S	0.21	0.11
K	0.10	0.04
Ca	1.90	0.80
Fe	0.35	0.11
Ukupno	100.00	100.00

8.2.2. Pregled bakrene mlaznice na SEM-u

Kao dio koji je interesantan za promatranje i skeniranje na SEM-u uzet je uzorak sa Slike 38. gdje su i golim okom vidljive rupice nastale udarom kapljica.

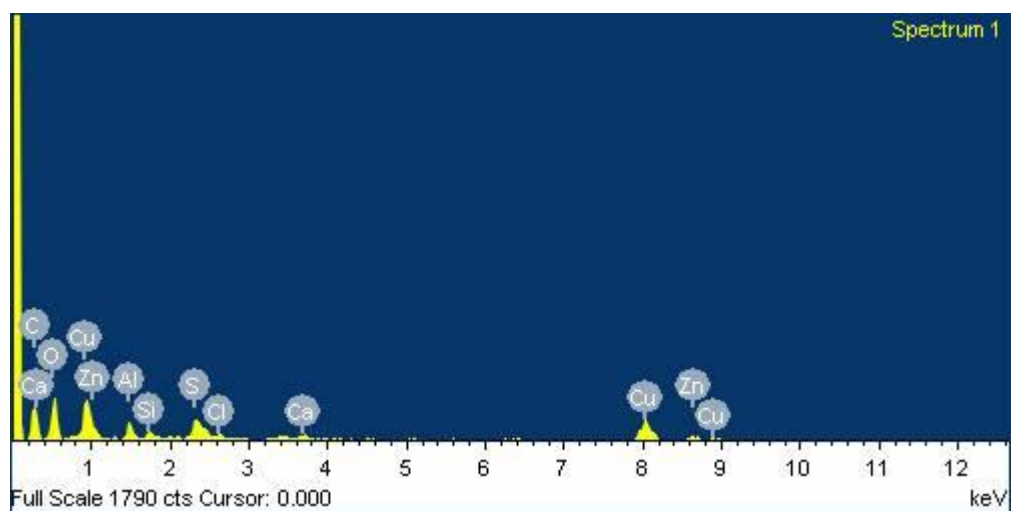
Slika 67. prikazuje skeniranu površinu bakrenog uzorka mlaznice sa Slike 38. Na skeniranoj površini jasno su vidljiva oštećenja nastala erozijom kapljevina. EDS metodom na SEM-u određen je kemijski sastav površine, isti je izvršen za zanimljivo područje kako je prikazano Slikom 68. i Slikom 70. Kemijskog sastava dobiven već spomenutom metodom naveden je na Slikama 69. i 71. te Tablicama 23. i 24.



Slika 67. Prikaz bakrenog uzorka sa Slike 38. Skeniranog na SEM-u



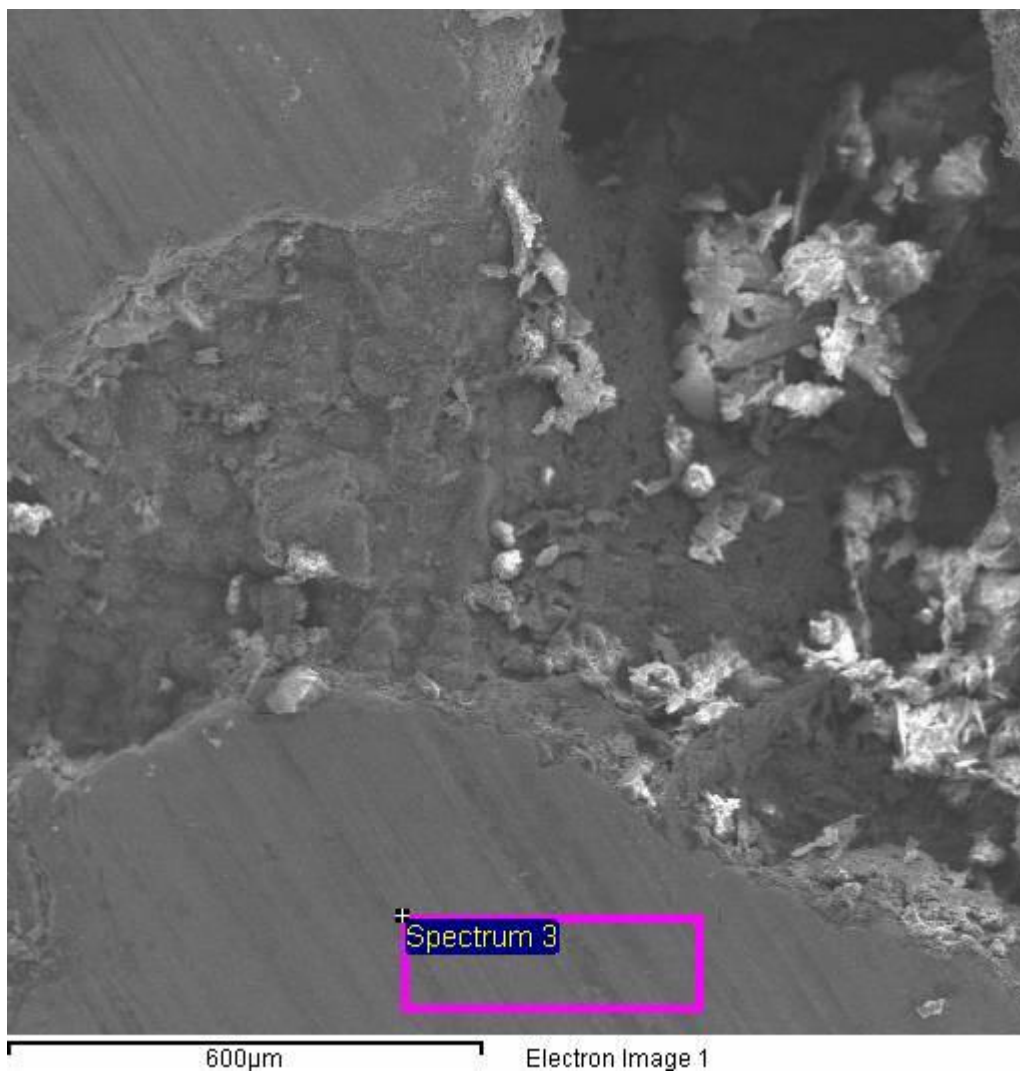
Slika 68. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na bakrenom uzorku



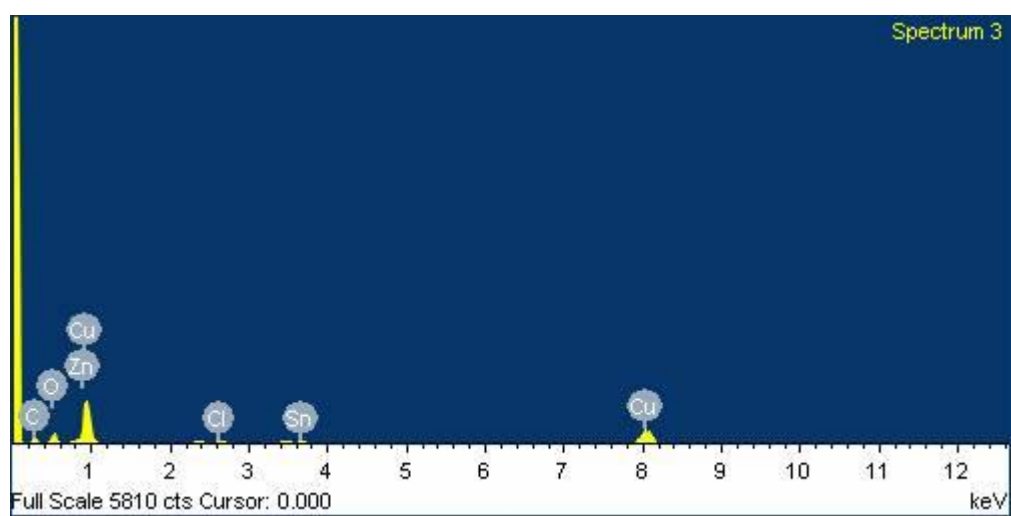
Slika 69. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 68.

Tablica 23. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 68.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	37.52	55.61
O	29.72	33.07
Al	2.66	1.75
Si	0.94	0.60
S	1.81	1.00
Cl	0.76	0.38
Ca	1.07	0.47
Cu	19.61	5.50
Zn	5.92	1.61
Ukupno	100.00	100.00



Slika 70. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na bakrenom uzorku



Slika 71. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 70.

Tablica 24. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 70.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	22.38	46.24
O	20.54	31.86
Cl	1.50	1.05
Cu	48.32	18.87
Zn	2.68	1.02
Sn	4.59	0.96
Ukupno	100.00	100.00

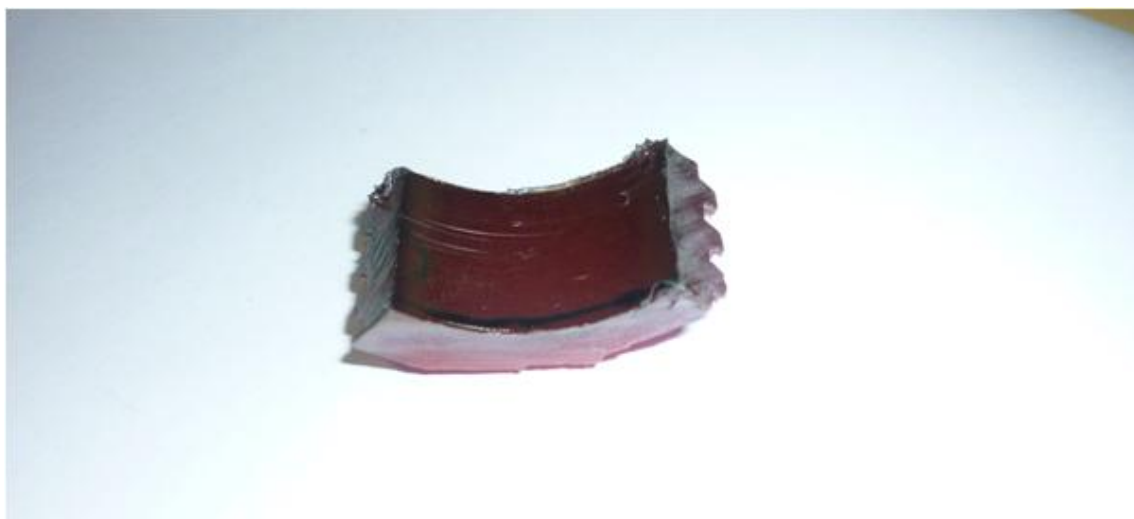
Iz rezultata dobivenih EDS metodom se može zaključiti da se ovdje radi o leguri CuZnSn, takozvanom crvenom lijevu, a svi ostali elementi su talog koji je nastao na uzorku uslijed prolaska vode.

8.2.3. Pregled polikarbonatne mlaznice na SEM-u

Polikarbonatni uzorak mlaznice sa Slike 43. podvrgnut je postupku naparivanja radi bolje vodljivosti i boljeg prodiranja zraka u materijal. Naparivanje je izvršeno na Emitech uređaju za naparivanje prikazanom na Slici 72. Kemijski elementi koji su korišteni za naparivanje su zlato i paladij koji se naparuju na površinu mješavinom plinova i to u koncentraciji od 85 % Ar i 15 % He.



Slika 72. Proces naparivanja



Slika 73. Uzorak od polikarbonata nakon naparivanja



SEM MAG: 100 x
HV: 20.0 kV
Name: crveni - 1

DET: SE Detector
DATE: 04/23/12

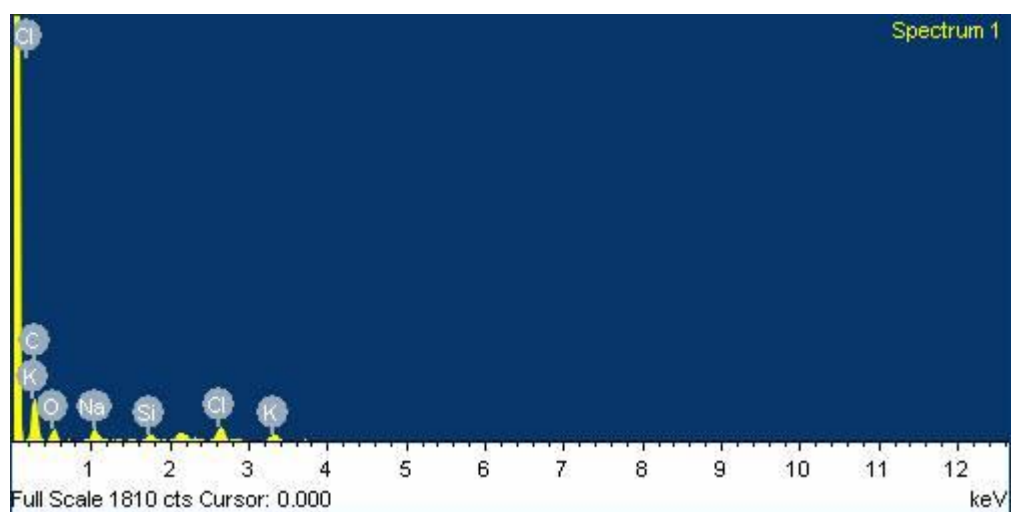
500 um

Vega ©Tescan
Digital Microscopy Imaging
Faculty of Mechanical Engineering, Zagreb
crveni

Slika 74. Prikaz polikarbonatnog uzorka sa Slike 73. skeniranog na SEM-u



Slika 75. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na polikarbonatnom uzorku



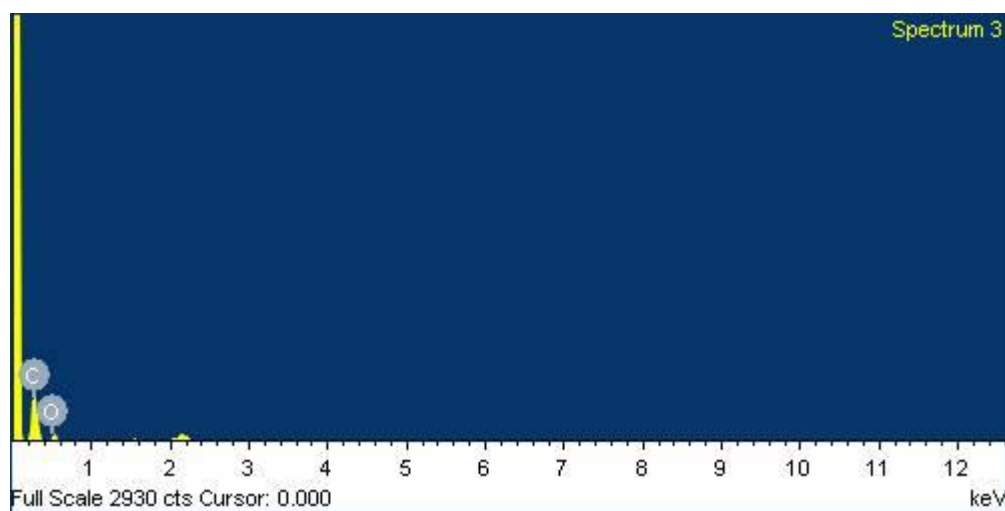
Slika 76. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 75.

Tabela 25. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 75.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	65.07	74.30
O	24.31	20.84
Na	3.28	1.95
Si	1.38	0.67
Cl	3.94	1.52
K	2.03	0.71
Ukupno	100.00	100.00



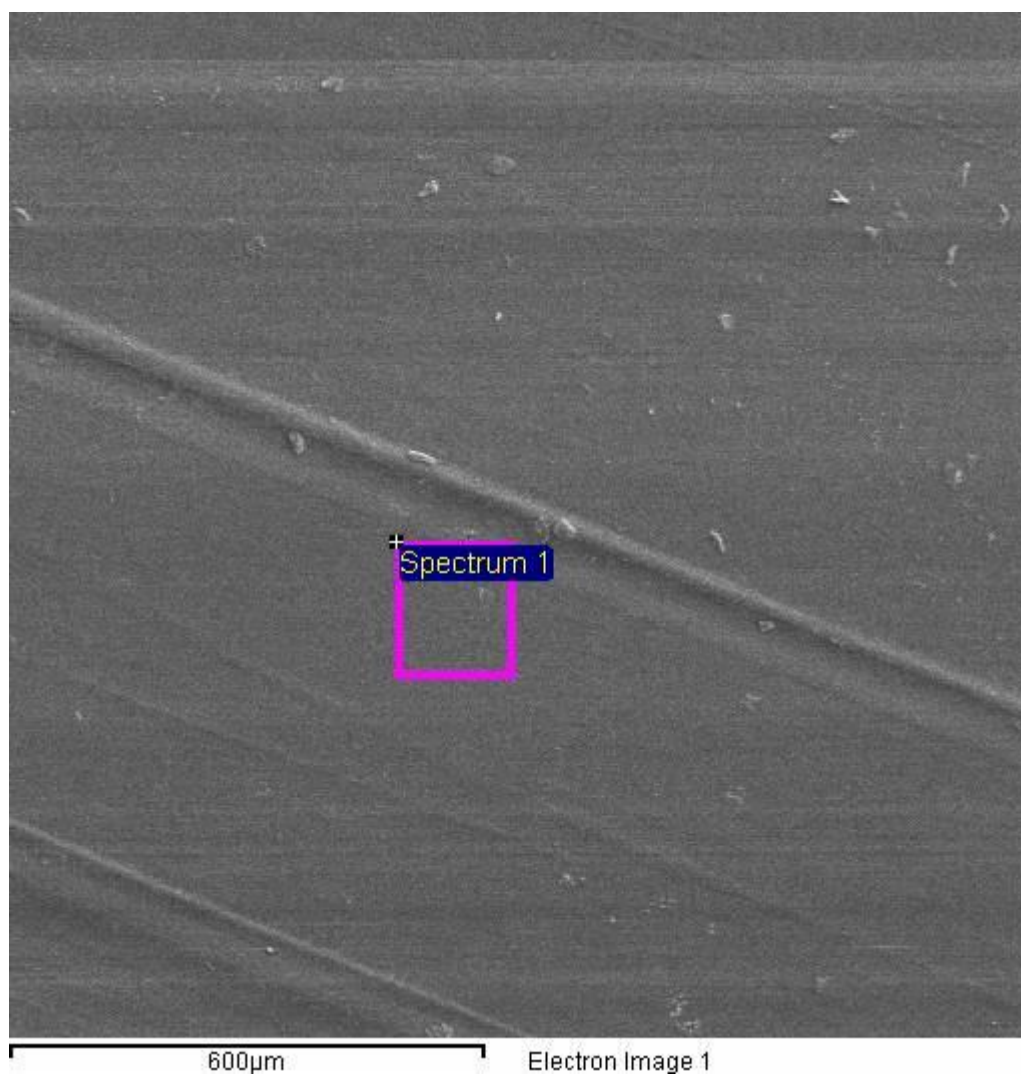
Slika 77. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na polikarbonatnom uzorku



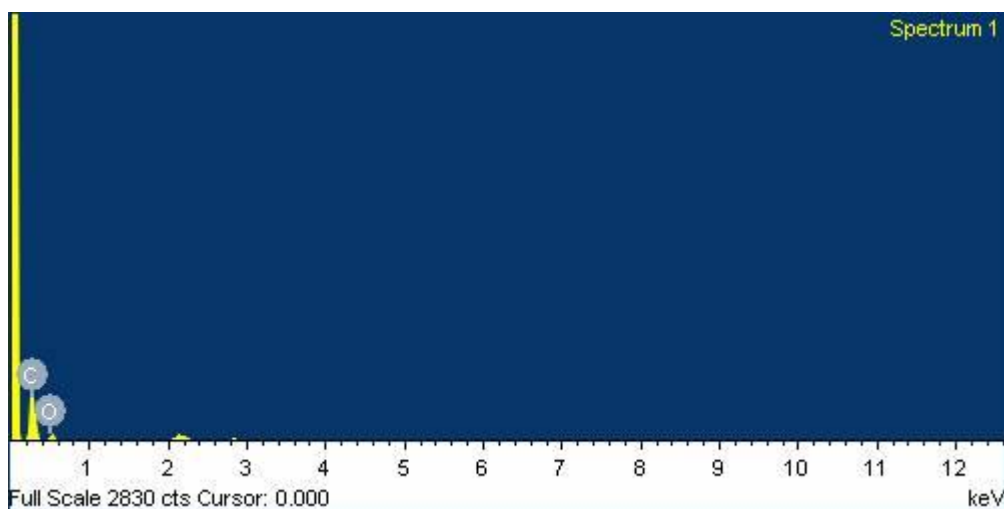
Slika 78. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 77.

Tablica 26. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 77.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	71.56	77.02
O	28.44	22.98
Ukupno	100.00	100.00



Slika 79. Odabrano područje za određivanje kemijske analize na polikarbonatnom uzorku



Slika 80. Prikaz kemijskog sastava na odabranom području sa Slike 79.

Tablica 27. Kemijski sastav na odabranom području sa Slike 79.

Element	Težina [%]	Atomi [%]
C	71.57	77.03
O	28.43	22.97
Ukupno	100.00	100.00

Prethodnim slikama i tablicama prikazan je kemijski sastav i oštećenja nastala na polikarbonatnom uzorku mlaznice. Iz rezultata dobivenih EDSD metodom na SEM-u može se zaključiti da su osnovni kemijski elementi od kojih je izrađena ova mlaznica, C i O.

9. Zaključak

Kaže se da treba biti u trendu, stalno učiti i prihvaćati nove stvari te biti u doticaju sa suvremenom industrijom. Tako i u ovom slučaju razvoj novih materijala i tehnologija dovodi do razvoja novih vatrogasnih mlaznica. Suvremene mlaznice sve više se proizvode od nekoliko različitih materijala s ciljem što bolje funkcionalnosti. Osim toga ne treba zanemariti i ostale primarne zahtjeve koji su i više nego prijeko potrebni i važni. Od primarnih zahtjeva cijena ima veliku ulogu kao jedan od zahtjeva, nadalje, zaštita od korozije i trošenja te otpornost na udarce ne smiju se nimalo zanemariti u izboru osnovnih zahtjeva. Kada se svi zahtjevi razmotre, bitno je da se ne smanji efekat gašenja i učinkovitost mlaznice. Analiziranjem mlaznica u ovom diplomskom radu vidljivo je iz rezultata da su mlaznice od aluminijskih i bakrenih legura više podređene trošenju uslijed prolaska vode od plastomerne mlaznice od polikarbonata. Dakle mehanizam trošenja erozijom kapljevnom puno više dolazi do izražaja kod aluminijske i bakrene mlaznice nego kod polikarbonatne. Nadalje, polikarbonatna mlaznica je i više otporna na udarce i lakša je za uporabu i nošenje. Što se tiče same izrade mlaznica, proces nastajanja i obrade polikarbonatne mlaznice je brži i lakši, a samim time ima i manju cijenu. Kod izrade aluminijskih i bakrenih mlaznica potrebna je naknadna površinska obrada koja štiti od trošenja i korozije, dok kod plastomernih mlaznica to nije problem jer se ulaganjem ojačala tijekom postupka ubrizgavanja rješava i taj problem. Stoga, treba težiti izradi i uporabi plastomernih mlaznica jer one imaju bolja svojstva kao materijal, bolje karakteristike, funkcionalnost i estetičnost, a prije svega i cijena im je prednost. Nakon što se razmotre sve pojedinosti, prednosti i nedostaci, treba zaključiti da je budućnost u zajedničkom korištenju dijelova od aluminijskih i bakrenih dijelova ukalupljenih u plastomernu mlaznicu. Na taj način bi sve prednosti i zahtjevi koji su potrebni dolazili do izražaja.

10. Literatura

- [1] Grupa autora: *Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika*, HVZ
- [2] Zlatko Posavec: *Autorizirana predavanja na tečaju za časnika*, Samobor, 2011.
- [3] http://www.awg-giengen.de/3_Branchpipes~ Monitors_190571_en.html
- [4] <http://www.stsmetal.hr/proizvodi/mlaznice/mlaznice.html#>
- [5] Tomislav Filetin, Franjo Kovačiček, Janez Indof: *Svojstva i primjena materijala*, FSB, Zagreb, 2006.
- [6] Krešimir Grilec, Vinko Ivušić: *Tribologija, autorizirana predavanja*, FSB, Zagreb, 2011.
- [7] Tomislav Filetin, Krešimir Grilec: *Postupci modificiranja i prevlačenja površina*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb 2004.
- [8] Zdravko Schauperl: *Autorizirana predavanja iz kolegija Struktura i svojstva materijala*, FSB, Zagreb, 2011.